

EESTI MAAÜLIKOOL

Tehnikakolledž



Markko Kasvandik

Jalgpallirobot

Soccer robot

Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö
tehnotroonika erialal

Juhedaja : Veli Palge, DSc

TARTU 2018

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseksning juhendaja (te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta.

Mina, Markko Kasvandik,

sünniaeg 7.06.1988,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö „Jalgpalli robot“, mille juhendaja on Veli Palge,

1.1.salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2.digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3.veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2 olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3.kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____

(allkiri)

Tartu, _____

(kuupäev)

Juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(Juhendaja nimi ja allkiri)

(Kuupäev)

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö Lühikokkuvõte	
Autor: Markko Kasvandik		Õppekava: Tehnotroonika	
Töö teema : Jalgpallirobot			
Lehekülgi:	Jooniseid: 24	Tabeleid:2	Lisasid:51
Osakond: Tartu Tehnikakolledž Uurimisvaldkond : Projekt Juhendaja(d): Veli Palge, DSc Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2018			
<p>Antud lõputöö käsitleb nõuetele vastava jalgpalliroboti mehaanika poole projekteerimist. Töös on välja toodud piirangud, mille järgi kogu masinavärk võistlussarjale sobilikuks on disainitud. Samuti on esitatud kalkulatsioonid, mille alusel loodav robot oma tööülesannete täitmisega hakkama peab saama.</p> <p>Töö sihiks on projekteerida jalgpallirobot, mida Eesti Maaülikooli robotiklubi liikmed saavad oma õpingute kõrvalt füüsiliselt valmis ehitada. Projekteerimine ja mõningate tööomaduste simuleerimine on sooritatud „SolidWorks 2012“ CAD tarkvaraga ja APEX lisamooduliga. Seadme mehaanilised detailid on disainitud sedasi, et need oleks valmistatavad tehnikainstituudi töökojas ja laborites olevate seadmetega. Käesolevas töös antakse ülevaade roboti konstruktsioonis sisalduvate mehhanismide ehitusest ning tööpõhimõtetest. Seletatakse lahti ka ürituse „Robotex“ võistlusseeria kvalifitseerumise nõuded.</p>			
Märksõnad: Jalgpallirobot, Robotex, SolidWorks 2012, Hüperbool peegel			

Estonia University of Life Science Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Applied higher education's thesis	
Autor: Markko Kasvandik		Speciality: Technotronics	
Title: Soccer robot			
Pages:	Figures: 24	Tables: 2	Appendixes:51
Department: Tartu Tehnikakolledž Field of research : Project Supervisor: Veli Palge, DSc Place and date: Tartu 2018			
<p>This project deals with the design of a soccer robot mechanical side which suits to proper requirements of soccer robot contest called “Robotex”. Constraints and different rules are implimented to turn robot suitable to any requirement.</p> <p>Aim of this work is also to design a soccer robot mechanical side what can be built by Estonian University of Life Science robotics club members.</p> <p>Designing work and simulations are done with „SolidWorks“ CAD software.</p> <p>Mechanical parts of this device are designed by the way that local students could make them with all accessable tools in the workshop.</p> <p>This project also explains all qualifying requirements what must be followed to gain licence to compete at contest.</p>			
Keywords: Soccer robot, Robotex, SolidWorks, Hvyperbola mirror, Omniwheel			

SISUKORD

MÕISTED	6
1.SISSEJUHATUS	7
1.1 Töö eesmärk	8
1.2 Töö põhimõte	9
2.OPTIKA	11
3.VEERMIK.....	19
3.1 Liikumis trajektoorid.....	22
3.2 Mootorid	24
4.PALLI HAARAMIS MEHHANISM	27
5.LÖÖGIMEHHANISM	32
6.KERE KONSTRUKTSIOON	34
7.REEGLITELE VASTAVUS	35
8.KOKKUVÕTE	38
8.1 Summary... ..	39
KASUTATUD KIRJANDUS	40
Lisa A koostejoonised.....	42
Lisa B tehnilised joonised.....	57

MÕISTED

ROBOTEX - on Tallinna Tehnikaülikoolis läbiviidav iga-aastane robotika suursündmus mille eesmärk on populariseerida robotikaga seonduvat üle eesti , kaasates robotite ehitamise protsessi igast vanusegrupist inimesi . Tegu on rahvusvahelise üritusega ning osalejate eesmärk on grupiga valmis ehitada robot mis suudaks osaleda mõnel üritusel toimival võistluslal.

SISSEJUHATUS

Käesoleva töö raames on projekteeritud nõuetekohase jalgpalliroboti mehaanika lahendus .

Arvesse on võetud „Robotex“ ürituse korraldajate poolt ettekirjutatud piirangud kaalule , gabariitmõõtudele ja tööfunktsioonidele.

Sooritatud on arvutused, millele tuginedes robot oma tööülesannete täitmisega hakkama peab saama.

Projekti eesmärk on luua jalgpallirobot, millega Eesti Maaülikooli tehnikainstituudis asuva robotiklubi liikmed saaksid jalgpallirobotite turniiridel osaleda ning Eesti Maaülikooli esindada.

Projekteerimis protsess ja optika simuleerimis protsess käesoleva projekti raames on sooritatud „SolidWorks 2012“ CAD tarkvaraga millele on juurde installeeritud APEX (optika) lisamoodul.

Terve roboti konstruktsioon on loodud arvesse võttes Eesti Maaülikooli töökodades olevaid seadmeid ja masinaid. Detailid on tudengite poolt valmistatavad juhul kui neil töökodadele ja laboritele juurdepääs olemas on.

Käesolevas projektis esitatakse ülevaade jalgpalliroboti konstruktsioonis kasutatavate mehhanismide tööpõhimõtetest ning nende ehitusest.

Üks osa projektist annab teadmisi ka vajalikest faktoritset mille täitmisel saab kvalifitseeruda „Robotex“ võistlusvõimeliste jalgpallirobotite hulka.

Töö eesmärk

Eesti Maaülikooli tudengid on osalenud varasematel aastatel robootika suursündmusel ROBOTEX, kuid siia maani valmis ehitatud robotid on olnud väiksemat sorti robotid. Näitena võib siinkohal tuua joonejälgijad ja sumo robotid. Tehnikainstituudis asuva robotiklubi aktiivsus viimastel aastatel ei ole suurt kasvu näidanud.

Üheks põhjuseks võib olla liialt väikesed robootikaga seotud projektid, mis ei ärata tudengites suurt huvi.

Teine põhjus võib seisneda selles, et suuremad robootika projektid eeldavad häid teadmisi programmeerimisest ja ka elektroonikast, kuid tehnikainstituut loob pigem mehaanikasuunalisi insenere.

Mitmekülgsema oskustepagasi väljaarendamiseks oleks vaja luua projekt, mille käigus inseneritudengid saaksid enda teadmisi hobikorras arendada ja praktiseerida. Seeläbi oleks võimalus õpilasel oma nõrgemaid külgi arendada ilma, et otseselt mõni õppeaine seda ette näeks.

Käesoleva töö tulemusena luuakse võimalus esindada Eesti Maaülikooli erinevatel robotite jalgpalli turniiridel. Hetkeseisuga konkreetsetes võistlusalas EMÜ on esindamata, kuid käsitletav projekt loob võimaluse seda muuta.

Töö põhimõte

Roboti ehitamine on protsess, mille sooritamiseks läheb vaja kolme valdkonna koostööd. Mehaanika, elektroonika ja programmeerimise koostööna peab loodud seadeldis olema suuteline iseseisvalt ettenähtud ülesandeid täide viima.

Ilma mehaanilise disaini ja konstruktsioonita ei saa korraliku robotit ehitada. Iga robot omab endas mingisuguseid mehaanilisi detaile. Olgu selleks ratas, võll, tala, laager või midagi muud. Projekteeritud detaile kombineerides saab luua erinevaid mehhanisme, mis hiljem hakkavad roboti töös alamfunktsioone täitma. Väiksemate mehhanismide kombineeritud kogum moodustabki tervikliku masinavärgi, mis käsitletavas projektis loob roboti mehaanika lahenduse.

Elektroonika kasutamine annab võimaluse mehaanika detailide liigutamiseks. Mehaanika üksi oleks pelgalt staatiline objekt mis ei omaks ilma inimfaktori sekkumiseta liikumisvõimet. Elektromehaanika seisneb elektrimootori abil ratta liigutamises või elektromagneti abil mõne muu detaili liigutamises. Samuti kasutades kaameramoodulit suudab robot omandada masin-nägemis võime.

Kogu seda juhtimist sooritatakse läbi arvutimooduli, mis omab mikrokontrolleri funktsioone. Mikrokontrolleri sisendeid kasutades saab andurite tuvastatud informatsiooni sisestada arvutisse. Tarkvaraga analüüsitakse tuvastatud väärtusi ning mikrokontrolleri väljundi kaudu mõjutatakse elektromehaanilisi komponente (mootorit või solenoidi).

Programmeerimine on roboti juures justkui seadmele mõtlemisvõime andmine. Iga roboti ehitamise protsessi juures jääb juhtkoodi kirjutamise osa kõige viimaseks sammuks. Eduka koodi kirjutamiseks on vaja jooksvalt seda ka katsetada füüsilise seadme peal, et tuvastada koodi võimet läbi elektroonikamoodulite masina elektromehaanikat juhtida.

Tarkvara arendamine peaks olema samm-sammuline tegevus. Järgmise sammu juurde varem ei minda kui eelnev ülesanne sooritatud on. Enne koodi kirjutamist oleks vajalik programmeerijal välja töötada läbitavate protsesside kava. Kava mõte on luua hierarhiline arusaam, et millised on funktsioonid millest alustada ning millised funktsioonid toetuvad eelmiste funktsioonide väljastatud tulemustele.

Funktsioonide sisendeid võidakse võtta reaalsest maailmast tuginedes andurite väärtustele või kaamerapildilt tuvastatavale infole.

Selleks, et vigade esinemisel oleks võimalik neid koheselt muuta on mõistlik katsetada koodi juba füüsiliselt valmis oleval robotil. Eeldada, et inimene kirjutaks juhtprogrammi valmis

ilma seda seadmesse proovimata oleks liialt ebareaalne. Seetõttu peab programmeerijal olema roboti testimis võimalus.

Jalgpallirobotile töövõime loomiseks tuleb masinale ette anda nõutavatest ülesannetest koosnev ahel, mis on välja toodud plokk skeemina (Vt. Joonis 1.0).

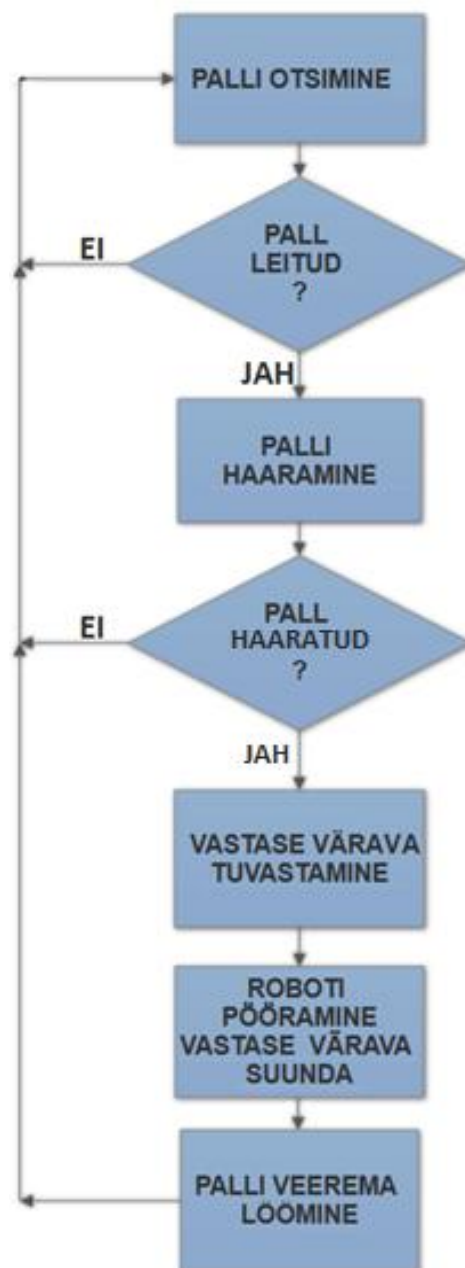
Roboti esimene ülesanne on oranži värvi golfipalli otsimine tuginedes kaamerapoolt filmitud videopildile. Pildituvastus tarkvara kasutades suudetakse eristada objektide värve ning värvilaikude suurus. Lähemal asuva palli pindala kaamerapoolt vaadatuna on suurem , seega tuvastatavate värvilaikude suurus hakkab mängima rolli objekti kauguse määramisel.

Kui kaamerapilt tuvastab mitu erinevat oranži värvilaiku, tuleb robotit liigutada suurima pindalaga värvilaigu suunas sedasi, et palli haaramis mehhanism jääks golfipalli suunda.

Selle töö teevad ära programmeerija poolt loodavad liikumis algoritmid. Palli haaramise protsess seisneb selles, et robotit liigutatakse esiosaga vastu golfipalli kuniks haaramismehhanismi pöörlev silikoon kattega võll kerib golfipalli enda haardesse. Selle seadme küljes on ka infrapunakiirguse andur ja sensor, mille abil tuvastatakse kas mõni objekt on roboti haardesse sattunud või mitte.

Järgmine täideviidav samm on vastasmeeskonna värava suuna tuvastamine. Selleks otsitakse läbi kaamerasilma kas kollast või sinist värvi objekti, sõltuvalt millisesse resžiimi robot lülitatud on. Kui tarkvara on suutnud tuvastada õige värvi olemasolu, pööratakse roboti esiosa selle värvilaigu suunda. Peale eelnevalt sooritatud sammu asub vastase värav otse roboti ees. Siinkohal ei mängi rolli enam roboti kaugus väravast.

Viimase sammuna lastakse löögimehhanismi mähisetraadist läbi elektrilaeng. Selle tulemusena liigutatakse löömis mehhanismis olevat sahka suunaga otse edasi. Sahk tabab golfipalli ning annab sellele piisavalt suure veeremise kiiruse selleks, et veereda üle jalgpalli väljaku teises ääres olevasse väravasse. Peale löömisprotsessi korratakse kogu eelnevat sammude jada, kuniks võistlusaega jätkub.



Joonis 1.0 Plokk skeem

OPTIKA

Käesoleva töö raames projekteeritav jalgpallirobot on vaja muuta autonoomseks isetoimivaks seadmeks. Pelgalt andurite kasutamisest nõutud ülesannete täitmiseks ei piisa. Tüüpiline lahendus on kasutada kaamerat ja seeläbi võtta vastu informatsiooni, mida arvuti suudab analüüsida. Optika süsteem on vajalik robotile masinnägemise andmiseks. Masinnägemine hõlmab endast riistvara ja tarkvara koostööna omandatavat video või pildi analüüsimis võimet. Selle tulemusena suudab arvuti tuvastada kaamera poolt filmitud videol olevaid objekte.

Vastavat tarkvara kasutades omistatakse robotile oskus videopildilt eristada objekte näiteks värvi ja kuju järgi. Seeläbi luuakse seadmele võimekus muutuda autonoomseks ennast isejuhtivaks robotiks, mis ei sõltu otseselt anduritest (kui mitte arvestada kaamera sensorit). Ehki ühte andurit käsitletava projekti raames siiski kasutatakse. Videopildilt tuvastatud info põhjal saab kontrollida ka mootorite pöörlemist, mille tulemusena mõjutatakse roboti liikumist.

Kui kaamera oleks paigaldatud kerekonstruktsiooni külge ja see vaataks ühte suunda, jääks nägemisväli piiratuks. Eelnevalt mainitud nägemisvälja korral tuvastatakse ainult objektid mis asuvad roboti ees, kuid mitte esemeid mis asuvad roboti külje või tagasuunas .

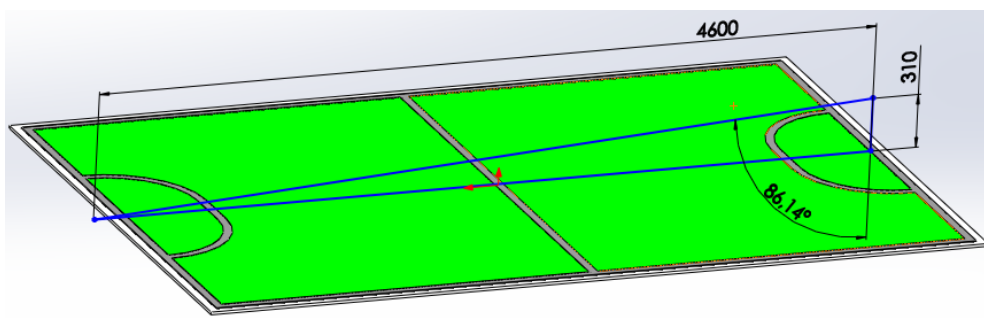
Nägemisväljast välja jäävate objektide tuvastamiseks tuleks robotit pöörata paremale või vasakule. Sedasi saaks ümber oleva ala üle kontrollida ja objekte enda ümbrusest tuvastada. Pööramine kulutaks liialt aega. Seega piiratud nägemisväli oleks sooritusvõimet pärssiv faktor käsitletava roboti konkurentsivõimeliseks muutmise puhul.

Projekteeritav jalgpallirobot peab olema suuteline konkureerima võistlusel. Seega on aeg piiratud ja sellest tulenevalt peab masin olema projekteeritud võimalikult ajasäästlik. Ajavõit annab suure eelise aeglasemate vastaste ees.

Üleliigsete liigutuste vältimiseks loome nägemisvõime, mis ei nõua roboti pööramist selleks, et palle oma ümbrusest tuvastada. Sellist nägemisviisi nimetatakse mitmesuunaliseks nägemiseks (omnidirectional vision). Ehk tegu on optilise lahendusega, mis suudab luua nägemisvälja 360 kraadi ümber oma telje ning tuvastada objekte igal ajahetkel. Üleliigsed aeganõudvad liigutused eemaldatakse ning selle võrra kiiremini suudab robot oma ülesande täita.

Mitmesuunalise nägemise loomiseks kasutatakse kahte põhikomponenti. Kaamera, mis vaatab alt üles ja hüperbool peegel, mis peegeldab kaamera vaatevälja laiali. Mida kaugemale

ulatub nägemisväli, seda väiksemad on kauguses asuvate objekti peegeldused. Liialt kaugel asuvate pallide tuvastamine võib olla raskendatud kui peegli pinnaviimistlus on liialt suure pinnakaredusega. Peegli peegelduvus sõltub pinnakaredusest. Väiksem pinnakaredus annab teravama pildi. Kui objektid on peeglilt liialt väikselt näha, siis ei pruugi masinnägemisne olla suuteline neid tuvastama. Joonisel 2.1 on näidatud mismoodi kõrgusel 310 mm olev punkt suudab 86,14 kraadise nurga korral luua hüpotenuusi joone, mille maapinnaga ristumise punkt asub teiselpool väljakut. Moodustunud kolmnurga hüpotenuusi joon saab olema optikasüsteemi maksimaalne nägemisvälja peegeldumisnurk. Selle kauguseni suudab kaamera näha objekte.



Joonis 2.1 Peegli nägemisvälja ulatus maksimaalse peegeldumisnurga korral

Hüperbool peegli kumeruse disainimisel võetakse arvesse selle paiknemise kõrgust maapinnast ja maksimaalset peegeldumisnurka. Nägemisvälja ulatus peab olema piisav, et näha väljaku ühest äärest teise (vt. Joonis 2.1).

Optikasüsteemi loomisel on arvesse võetud kaamera nägemisvälja näitajaid (laiusnurk ja kõrgusnurk) ning kaugust hüperbool peegli fookuspunktist. Kaamera valik on otseselt seotud arvutiga, mis suudab kaamerapildi vastu võtta ja seda analüüsida.

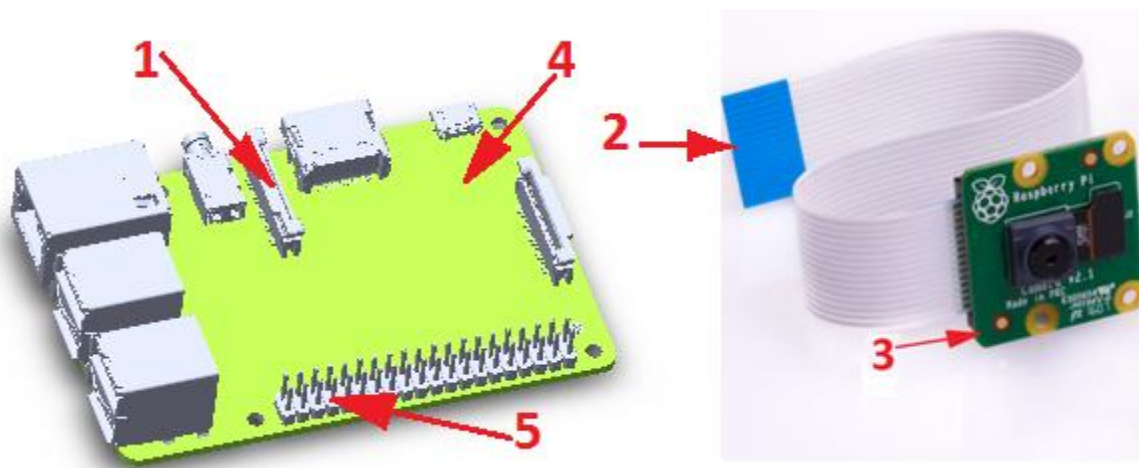
Jalgpalliroboti juhtimiseks kasutatakse „ASUS tinker board S“ arvuti moodulit (Vt. Joonis 2.2 punkt 4).

Arvuti valikul mängib tähtsat rolli mikrokontrolleri sisend- ja väljundviikude olemasolu (Vt. Joonis 2.2 punkt 5), mille kaudu saab tarkvara kätte infrapuna andurilt tulevat informatsiooni. Samuti on olemas ka kaamera ühendamiseks standartne CSI (camera serial interface) ühenduspesa (Vt. Joonis 2.2 punkt 1), mille kaudu saab kasutada ühilduvaid kaameramooduleid.

Arvutimoodulil on peal 4 tuumaline 1,8Ghz protsessor, mis on piisavalt võimekas oma ülesannete täitmiseks. 4 tuuma koostööna suudab protsessor jooksupada mitut protsessi paralleelselt ning funktsioonide realiseerimise aeg on kokkuvõttes kiirem võrreldes ühe

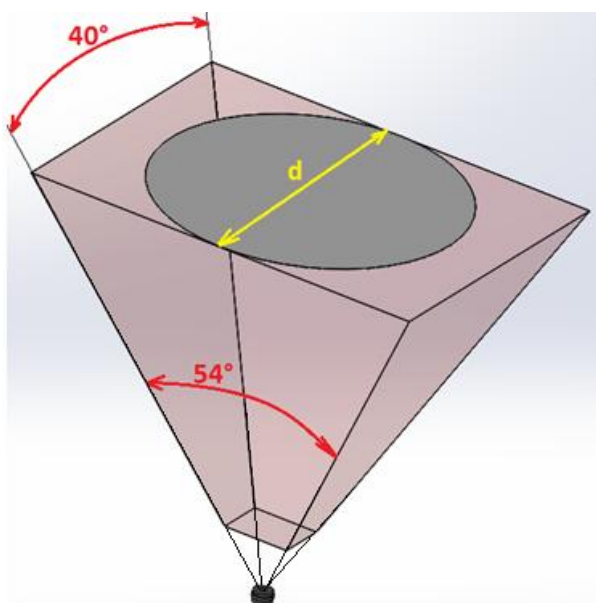
tuumalise protsessoriga. 2GB DDR3 vahemälu on suurem kui alternatiivsetel konkureerivatel arvutimoodulitel (enamasti 1GB). Samuti on sisseehitatud 8GB MMC flash mälu, mille andmeedastus kiirus on suur pluss paljude teiste mälutüüpide kõrval.

Optikasüsteemi loomiseks on valitud „**Raspberry PI v2**“ kaameramoodul, mis on 8 Megapikslise sensoriga (Vt. Joonis 2.2 punkt 3) . Konkreetne kaamera sobib valitud arvutiga koos töötama läbi ribakaabli (punkt 2), mis ühildub CSI pesaga (punkt 1).



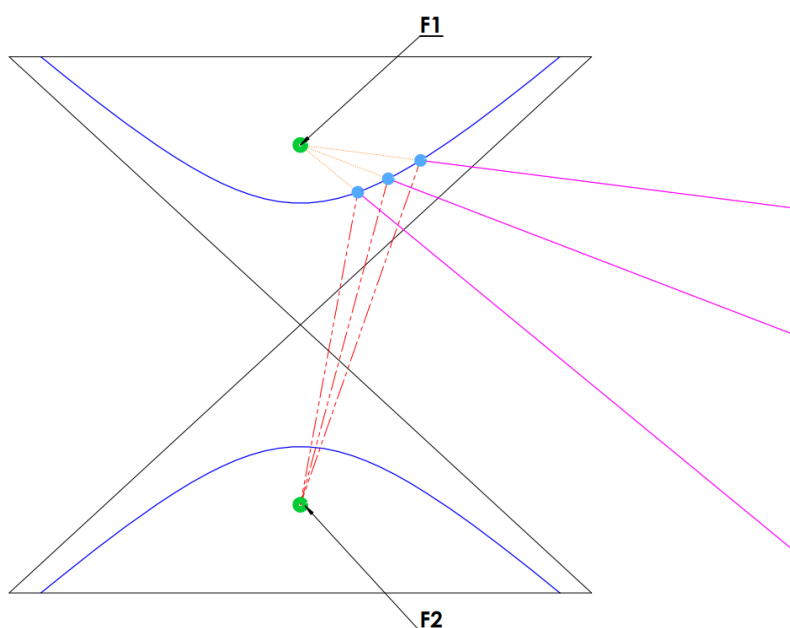
Joonis 2.2 . Arvuti ja kaameramoodul

Optikasüsteemi loomisel kasutatakse eelmainitud kaameramoodulit, mille video resolutsiooniks on 1080p- 30fps või 720p- 60fps. Kaamera nägemisväli on 40 x 54 kraadi . Lühema nurga väärtust arvestades projekteeritakse ka peegli diameeter (Vt. Joonis 2.3). Suurema vaatenurga järgi loodud diameetri korral tekib pime sektor ehk ala mida nägemisväli ei suudaks ära katta.



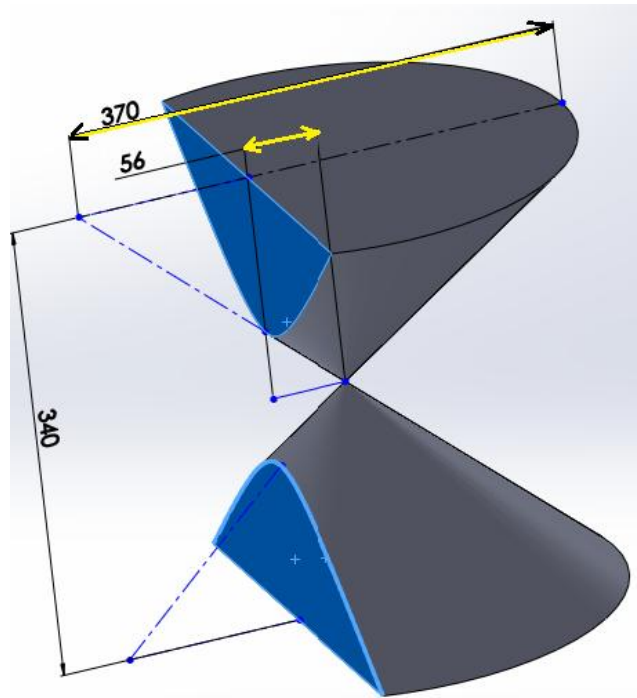
Joonis 2.3 . Peegli diameetri paiknemine kaamera nägemisväljas

Peegli diameeter sõltub hüperbooli fookustevahelisest kaugusest ning kaamera nägemisvälja laiuusest. Hüperbool on kahe sümmeetrilise koonuse läbilõikest moodustunud lõikejoon (piirjoon). Hüperbool peegli pinnakumeruse disainimiseks on tähtis võtta arvesse soovitud fookustevahelist kaugust. Fookustest sõltub kaamera läätse ja peegli kaugus teineteisest. Kaamera lääts paigutatakse hüperbooli fookusesse F2 (Vt. Joonis 2.4) ja peegli enda fookuseks on F1. Joonisel 2.4 on näidatud sinise punktiga kaamera nägemisvälja peegeldumispunkt langedes hüperbooli lõikejoonest tuletatud pinnale. Joonise 2.4 punane joon näitab kaamera nägemisvälja kaudu liikuvat kiirt ning roosa joon on sama kiir peale peegeldumist.



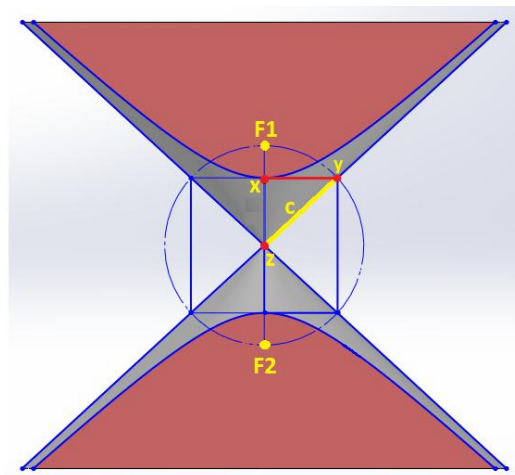
Joonis 2.4 Hüperbooli fookustest sõltuv nägemisvälja murdumine

Joonisel 2.5 on tehtud kahest sümmeetrilisest koonusest läbilõige, mille tulemusena on saadud hüperbooli piirjoon. Selle joone kuju muutub juhul kui koonuse mõõte muuta või läbilõike kaugust koonuse keskpunktist nihutada. Liigutades läbilõike kaugust tsentri suunas (mõõt 56), muutub hüperbool teravamaks, kuid fookuste kaugus sel juhul väheneb. Nihutades läbilõike kaugust tsentrist eemale, muutub hüperbool lamedamaks ja fookuste kaugus suureneb.



Joonis 2.5 Koonuste lõikest hüperbooli tuletamine

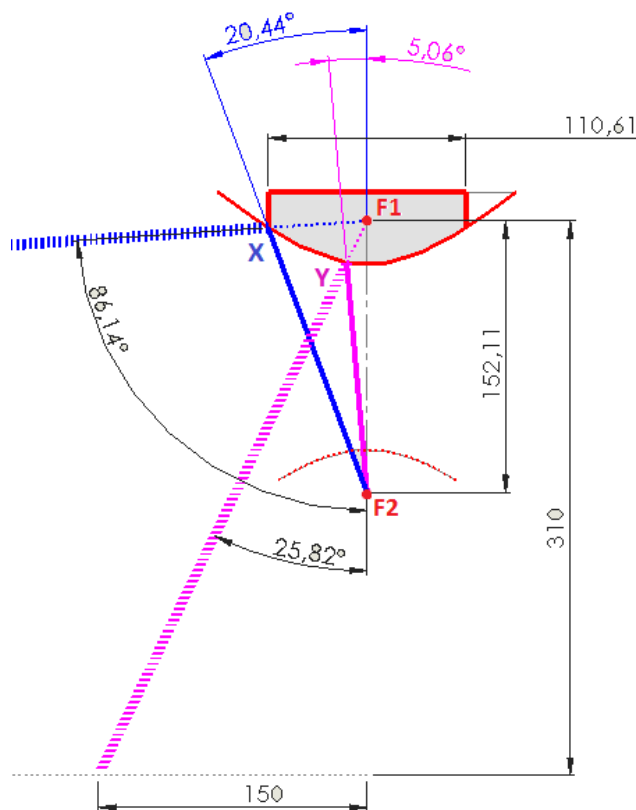
Fookuspunktide $F1$ ja $F2$ asukoha tuvastamiseks tuleb leida joone C pikkus (vt. joonis 2.6). Hüperbooli tipust X tõmmatud horisontaaljoon ristub koonuse ääre joonega. Selles ristumiskohas asub punkt Y , mille kaugus koonuste puutepunktist Z on võrdne hüperbooli fookuskaugustega.



Joonis 2.6. Hüperbooli fookuspunktide tuletamine

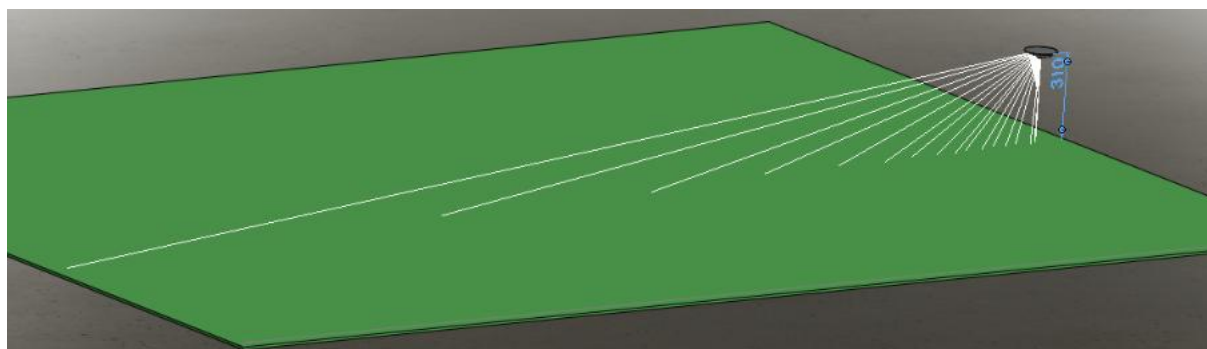
Projekteeritud hüperbooli lõikejoone ja fookuspunktide leidmise tulemusena luuakse lõplik peegli geometria. Vaadates joonist 2.7 näeme, et punktist $F2$ on väljuvaks nägemisväljaks võetud 20,44 kraadi, mis on kaamera nägemisvälja lühem külg (0,44 kraadise varuga). See langeb hüperbooli pinnale punktis X .

Tõmmates hüperbooli fookuspunkti F_1 joone läbi punkti X ja pikendades seda, leitakse peegeldunud kiire murdumisnurk $86,15$ kraadi (Vt Joonis 2.7). Katkendlik sinine joon on maksimaalne nägemisnurk, mida kaamera peegeldunult näeb.



Joonis 2.7 kiirte murdumis joonis

310mm kõrgusel oleva fookuspunkti kaudu peegeldatakse kaamera vaateväli teisele poole mänguväljakut (Vt. Joonis S). Kõik mis jääb hüperbooli lõikejoonel asuvast punkti X (Vt. Joonis 2.7) väljapoole on nähtamatu ala kaamera jaoks, sest kaamera vaateväli on 20 kraadi oma kesktelje suhtes. Seetõttu vajaliku peegli diameeter ei ole suurem kui X punkti kaugus tsentrist (Vt Joonis 2.7. mõõt 110,61).

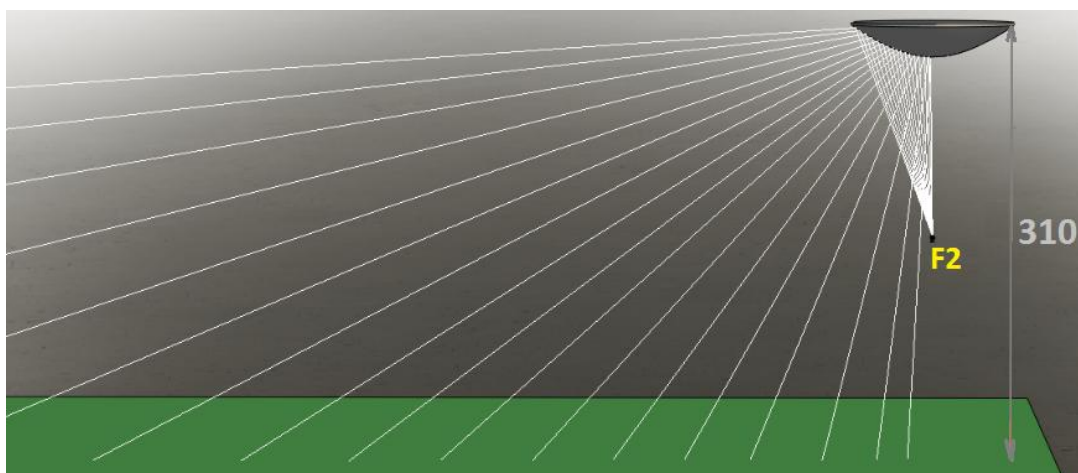


Joonis 2.8 Maksimaalne nähtava ala ulatus

Nagu joonisel 2.7 on näha, on olemas vajalik geomeetria kolmemõõtmelise peegli loomiseks. Peegli geomeetria õigsuse kontrollimiseks on simuleeritud valguskiirte peegeldumist vastavas tarkvaras. Solid Works on projekteerimis tarkvara, millel ei ole originaalis ühtegi valguskiirte simuleerimis (**ray tracing**) lisamoodulit. Kuid on olemas kolmandate osapoolte toodetud lisamoodulid projekteerimis tarkvara jaoks, millega saab kontrollida kiirte peegeldumist. Käesoleva projekti raames võeti kasutusele APEX nimeline simulatsiooni tarkvara pakett. Vaadates joonist Z on näha punkti F2 (kaamera paiknemis punkt) millest suunatakse valguskiired erinevate nurkade all alt üles. Kui loodud hüperbool peegli geomeetria on õige, siis joonte peegeldumine tuleb sama mis geomeetriliselt tuletatud joonisel(Vt. Joonis 2.7).

Kiired projekteeritakse sedasi, et nad langeks objekti pinnale. Edasi simuleerib tarkvara suuna kuhu valguskiir peegeldub.

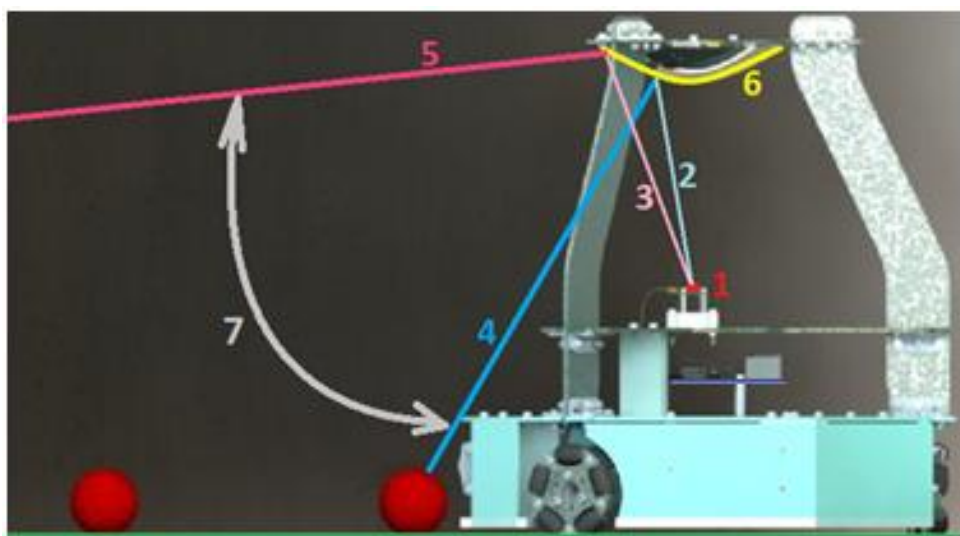
Joonistel 2.7, 2.8, 2.9 on näha, et kiired peegelduvad eeldatud nurkade all. Joonisel 2.7 on näha, et maksimaalne nägemisnurk langeb väljaku teise äärde juhul kui peegli fookus punkt on maapinnasst kõrgusel 310 mm.



Joonis 2.8 Valguskiirte peegeldumis simulatsioon APEX tarkvaraga

Roboti optikasüsteemi vajalik nägemisväli (Vt. Joonis 2.9 punkt 7) on minimaalse ja maksimaalse peegeldumisnurga vaheline vaatenurk. Minimaalsest peegeldumisnurgast väiksema väärtuse korral liigub vaateväli roboti konstruktsioonide peale. See ei ole vajalik käsitletavas projektis. Minimaalsest peegeldumisnurgast alates suudab robot enda kõrval asuvaid palle tuvastada (Vt. Joonis 2.9 punkt 4).

1. Kaamera lääts
2. Minimaalne vajalik kaamera nägemisnurk .
3. Maksimaalne kaamera nägemisnurk.
4. Minimaalne peegeldumisnurk
5. Maksimaalne peegeldumis nurk
6. Hüperboolpeegli pind
7. Vajalik nägemisväli



Joonis 2.9. Vajalik nägemisväli

VEERMIK

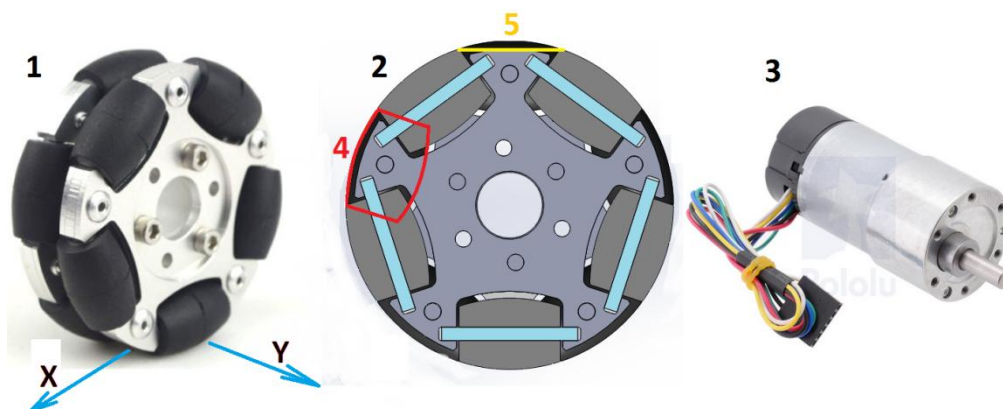
Robotile liikumisvõime andmiseks kasutatakse rattaid ja elektrimootoreid. Käesoleva projekti raames luuakse jalgpallirobot, mis hoiab aega kokku iga üleliigse liigutuse arvelt. Lisaks mitmesuunalisele nägemisele (omni vision) kasutatakse ka mitmesuunalist liikumist (omnidirectional movement).

Omniwheel on robotitele mõeldud ratas mis võimaldab igal ajahetkel liikuda mistahes suunda ilma, et see vajaks pööramist .

Ratta ehitus seisneb paljudes väikestes ratastes mis on paigutatud konstruktsioonile sedasi, et rataste välispinnad moodustavad ringjoone (Vt. Joonis 3.0 punkt 2). Joonisel 3.0 (punkt 1) on näha, et rattad paiknevad kahe kihina. Põhjus seisneb selles, et ühe kihina asetsevad rattad ei suudaks moodustada ringjoont, vaid tekivad alad kus ringjoon katkeb ning ei moodustu ratas (punkt 5). Nende sektorite kohapeal asub teine kiht rattaid, mille pind loob tühimike asemel ringjoone (punkt 4).

Projekteeritavale robotile liikumisvõime andmiseks on kasutatud 6cm diameetriga standartseid alumiinium rattaid, mille kandevõime on 3kg. Roboti ehituses on kokku kasutatud 3 ratast. Kolme ratta kogukandevõime saab olema 9kg, mis on 1 kg rohkem kui reeglites lubatud maksimaalne roboti kaal.

Kuna ratas koosneb väiksematest ratastest siis luuakse võimalus liikuda samaaegselt nii X kui Y telje suunas (Vt. Joonis 3.0. punkt 1).



Joonis 3.0 Omniwheel , selle läbilõige ja DC mootor
(punkt 1 ja 3 fotode viited esitatud kasutatud allikates)

Ratastele pöörlemisvõime andmiseks kasutatakse 12V alalisvoolu mootoreid POULU (punkt3).

Rattad koos mootoritega on paigutatud roboti põhjaplaadile sümmeetriliselt 120 kraadiste nurkade all (Vt. Joonis 3.1 punktid 1,2,3).

Ratta diameeter [3.0] on 60mm ja ümbermõõt 188,5mm [3.1]. Joonisel 3.1 punkt 4 on roheline joon (punkt 5), mis kujutab endast ratta tegeliku veeremis suunda ning punase joone pikkus 188.5mm on ühe ratta täispöördega läbitud maa. Arvutuste kohaselt tuleb rattal sooritada 5.3 täispööret [3.2] selleks, et mööda ratta telge läbitaks 1 meetrine vahemaa.

Kuna rataste veeremisnurk ei ole paralleelne vaid 30 kraadise nurga all, siis roboti edasi liigutud vahemaa (Vt. Joonis T. punkt 5) ei võrdu ratta poolt läbitud vahemaaga.

Situatsioonis, mil ratas 1 ja 2 (vt. Joonis T) pöörlevad võrdse kiirusega, on roboti edasiliikumise kiiruseks 21.766 cm [3.3] ühe ratta täispöörde kohta (vt. Joonis T. punkt 5), kuigi ratas läbib 18,85cm (vt. Joonis T. punkt 4) mööda oma telge.

Valemid:

$$p = d \times \pi$$

$$ratas_{x_cm} = p$$

$$ratas_{x_pöoret} = \frac{100cm}{p}$$

$$robot_{otse_cm} = \frac{p}{\cos(\alpha)}$$

$$robot_{otse_pöoret} = \frac{100\text{ cm}}{robot_{otse_cm}}$$

$$robot_{otse_meeter} = P \times robot_{otse_pöoret}$$

$$ratas_y = robot_{otse} \times \sin(\alpha)$$

Tähised :

- d -ratta läbimõõt, cm;
- p – ratta ümbermõõt, cm;
- π – konstant 3.14;
- m – mass , kg;
- g – gravitatsiooni konstant;
- α - nurk kraadides ratta ja roboti telje vahel;
- $ratas_{x_cm}$ – ratta läbitud maa x telje suunas 1 täispöörde korral
- $ratas_{x_pöoret}$ – mitu pööret, et x telgepidi läbida 1m
- $robot_{otse_cm}$ – ratta 1 pöörde korral moodustunud kiirusvektor, cm;

- $robot_{otse_pöõret}$ -ratta pöörete arv mis liigutab robotit 1m otse edasi ;
- $robot_{otse_meeter}$ - pöörete teisendus cm;
- $ratas_y$ - ratta liikumine y telje suunas, cm;

Arvutuskäik:

$$d = 6 \text{ cm} \quad [3.0]$$

$$p = 6 \text{ cm} \times 3.14 = 18.8496 \text{ cm} \quad [3.1]$$

$$ratas_{x_cm} \approx 18.85 \text{ cm}$$

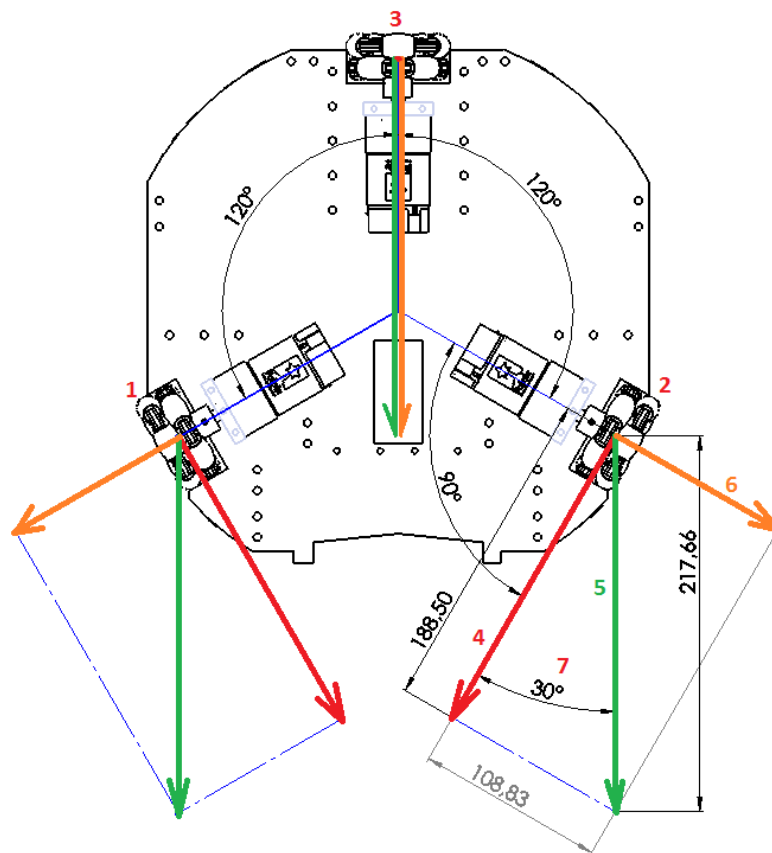
$$ratas_{x_pöõret} = \frac{100 \text{ cm}}{18.85 \text{ cm}} = 5.305 \quad [3.2]$$

$$robot_{otse_cm} = \frac{18.85}{\cos(30^\circ)} = 21.766 \text{ cm} \quad [3.3]$$

$$robot_{otse_pöõret} = \frac{100 \text{ cm}}{21.766 \text{ cm}} = 4.594 \quad [3.4]$$

$$robot_{otse_meeter} = 18.85 \text{ cm} \times 4.594 = 86.6 \text{ cm} \quad [3.5]$$

$$ratas_y = 21.766 \text{ cm} \times \sin(30^\circ) = 10.833 \text{ cm} \quad [3.6]$$

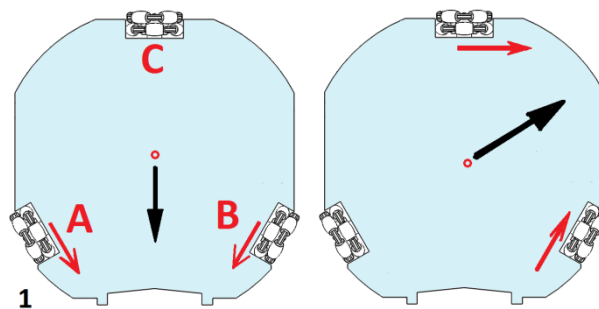


Joonis 3.1 Põhjaplaat , rataste asetus ja liikumis vektorid

Liikumis trajektoorid

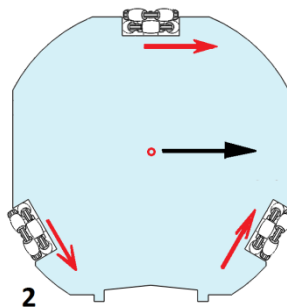
Kasutades erinevaid rataste pöörlemise kombinatsioone on võimalik omistada robotile nelja sorti liikumis trajektoore.

Esimene liikumisviis on otseliikumine mööda kahe ratta vahel kulgevast telge. See saavutatakse juhul kui roboti kahte rattast (vt. Joonis 4.1) pöörata võrdse pöörlemiskiirusega samas suunas. Rataste A ja B pöörlemise korral on liikumine suunatud otse edasi või tagasi. Rataste A ja C või B ja C koostöö korral liigub robot sirgjooneliselt mööda diagonaali.



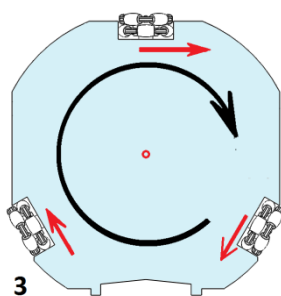
Joonis 4.1

Teine liikumisviis on külgliikumine (vasakule või paremale liikumine) . Selle saavutamiseks kasutatakse kolme ratta pöörlemise kombinatsiooni (vt. Joonis 4.2). Vastassuunda liikumiseks tuleb rataste pöörlemise suunad vastupidiseks seada.



Joonis 4.2

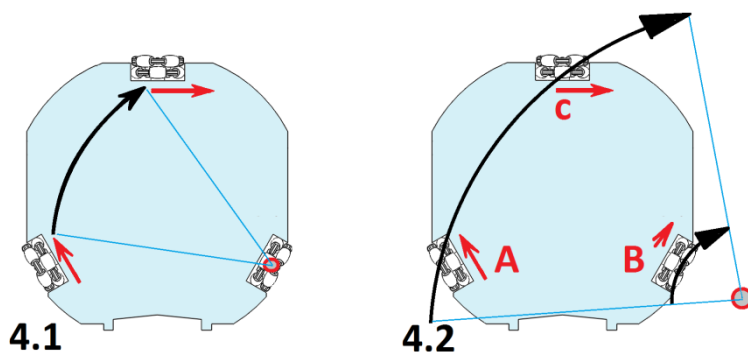
Kolmas liikumisviis on pöördliikumine ümber iseenda telje. Seda kasutatakse suuna muutmiseks ilma, et oleks vaja robotit asukohalt minema liigutada. Pöörates kõiki kolme rattast samas suunas võrdse kiirusega, hakkab robot pöörlema ümber oma keskpunkti (vt. Joonis 4.3) .



Joonis 4.3

Neljas liikumisviis on ringliikumine. Pöörates kahte ratast (näiteks A ja C) samas suunas (ehk päripäeva või vastupäeva) moodustub kolmanda ratta (B) kohale ringjoone keskpunkt, mille ümber robot ringjooneliselt liigub (vt. Joonis 4.4 punkt 4.1).

Kui anda rattale B vastassuunaline liikumine (vt. Joonis 4.4 punkt 4.2), nihkub ringjoone keskpunkt robotist eemale. Läbitav ringjoone trajektoor muutub laugemaks, sest moodustunud ringi raadius muutub suuremaks. Praeguse näite puhul (vt. Joonis 4.4 punkt 4.2) ringjoone trajektoori raadius sõltub ratta B pöörlemiskiirusest. Mida kiirem on ratta B pöörlemiskiirus, seda suuremaks muutub tekkiva ringjoone trajektoori raadius.



Joonis 4.4

Mootorid

Mootorite valikul on arvestatud mitmeid faktoreid. Jalgpallirobotite võistlusreeglid näevad ette roboti maksimum kaaluks 8kg. Sellest tulenevalt mootori valikul on eeldatud, et elektriagam suudaks liigutada vähemalt vastavat raskust. Kasutataval mootoril on kerge varu selleks, et mootor oma maksimum piiril ei töötaks (vältimaks ülekuumenemist).

Kasutades järgnevaid valemeid raamatust „Mehaanikainseneri käsiraamat“ leitakse vajalikud füüsikalised suurused.

Kalkulatsioonis [5.0] on leitud minimaalne jõud, mida tuleb rakendada selleks, et 8kg masin ületaks veeretakistuse ning hakkaks veerema.

Valem:

$$F = m \times g \times \mu$$

Tähised

- m – mass, kg;
- g – raskuskiirendus;
- μ – hõõrde tegur;
- F – veeretakistus jõud, N;

Arvutuskäik

$$F = 8 \times 9.81 \times 0.0188 = 1.475 \text{ N [5.0]}$$

Tabel 1. Projektis kasutatava mootori andmed :

Ülekande suhe	Pöörded minutis	Pöördemoment	Toide
50 : 1	200RPM	170 Oz-in	12V , 5A

Mootori valimisel on arvestatud pöörete arvu ja pöördemomenti. Valitud DC mootor omab käigukasti, mille ülekande suhte arv on 50:1. Seega algne pöörete arv 11000 pööret minutis muundatakse 200 pöördeks minutis. Pöörete arvu vähendamise arvelt tõstetakse pöördemomenti, mida on tarvis massi liigutamiseks. Andmetes on kirjas 50:1 käigukastiga mootori pöördemoment on 170 OZ-in (ounce-inch). Etteantud mõõtühik tuleb teisendada N-m ühikusse.

Valemid:

$$Nm = \frac{Tq}{Oz}$$

$$N_r = \frac{Nm}{r}$$

$$Kg_m = \frac{N_r}{g}$$

$$a = \frac{N_r}{m}$$

Tähised:

- Oz – „Oz-in“ väärtus Newtonites, N;
- Tq – mootori pöördemoment, Oz-in;
- Nm – mootori pöördemoment Newtonites;
- N_r -rattal olev pöördemoment
- r – roboti ratta raadius, m;
- g – raskuskiirendus;
- Kg_m – mootori maksimaalne veetav mass, Kg;
- a – kiirendus, m/s²;
- m – mass, kg;

Arvutuskäik

$$Nm = \frac{170}{141.61193227806} = 1.2005 \text{ N} \quad [5.1]$$

$$N_r = \frac{1.2005}{0.03} = 40.015 \text{ N} \quad [5.2]$$

$$Kg_m = \frac{40.015}{9.80665} = 4.08 \text{ Kg} \quad [5.3]$$

$$a = \frac{40.015}{8} = 5.002 \text{ m/s}^2 \quad [5.4]$$

1 meetrise raadiuse kaugusel suudab mootor tekitada jõu 1.2005 N [5.1]. Kasutatava ratta raadius on 3cm. Järgneva kalkulatsiooniga on leitud ratta raadiusel tekkiv pördemoment (N_r). N_r [5.2] on jõud (40.015 N) mis robotit liigutab ja teisendades selle jõu kilogrammideks leiame ühe mootori veetava maksimaalse massi (Kg_m), milleks on 4,08kg [5.3]. Sõltuvalt roboti liikumis nurgast koormatakse mootoreid erinevalt, kuid otse liikumise korral on kasutusel ainult 2 mootorit (Vt. Joonis T. punktid 1,2). Kahe mootori võimekus peab olema piisav, et vedada tervet roboti massi). Otse liikumise koral kolmanda mootori küljes olev ratas veereb lihtsalt kaasa. Sellises situatsioonis kolmas mootor ei avalda mingisugust jõudu .

Projekteeritava roboti ehituseks on kasutatud suure pöördemomendiga mootoreid, kuna mootorite kasutus ei ole võrdväärne ja üks mootor peab korvama teiste mootorite mitte tehtavat tööd. Suure pöördemomendi tõttu suudab masin maksimum kiiruse kiiresti saavutada, kuigi maksimum kiirus ise ei ole suur. Kiirenduse leidmiseks on mootorile mõjuv jõud jagatud kaaluga [5.4].

Roboti edasiliikumise kiiruse leidmiseks on võetud mootori pöörded sekundis ja korrutatud läbi ratta ümbermõõduga. Rattad on 30 kraadise nurga all koondumas asendis. Roboti tegeliku kiiruse leidmiseks (Vt. Joonis 3.1.punkt 5) korrutatakse saadud ratta kiirus läbi cosinus 30 kraadiga .

Valemid:

$$RPS = \frac{RPM}{60}$$

$$M_x = RPS \times p$$

$$M_{otse} = \frac{M_x}{\cos(30^\circ)}$$

$$M_y = M_{otse} \times \sin(30^\circ)$$

Tähised

- RPM - mootori pöörete arv **200** minutis; rpm;
- RPS – mootori pöörete arv sekundis, rps;
- p – ratta ümbermõõt, m;
- M_x – ratta veeremine x telje suunas, m/s;
- M_y – ratta veeremine y telje suunas, m/s;
- M_{otse} –roboti veeremine otse suunas, m/s;

Arvutuskäik

$$RPS = \frac{200}{60} = 3.33 \text{ rps}$$

$$M_x = 3.33 \times 0.188 = 0.628 \text{ m/s}$$

$$M_{otse} = \frac{0.628}{\cos(30^\circ)} = 0.726 \text{ m/s} \quad [5.5]$$

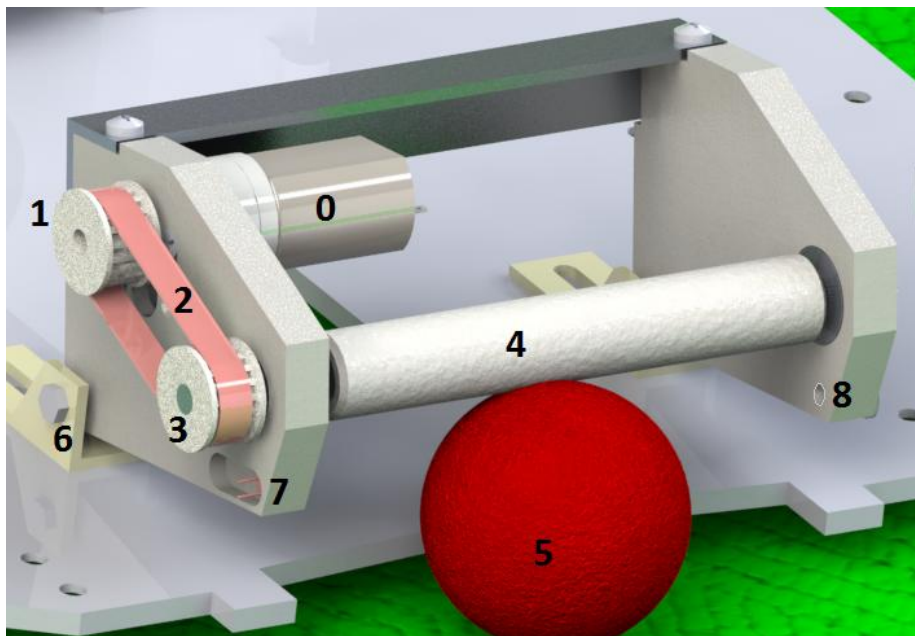
$$M_y = M_{otse} \times \sin(30^\circ) = 0.363 \text{ m/s}$$

Kalkulatsioonide tulemusena on näha, et roboti maksimaalseks liikumiskiirus saab olema 0.726 m/s [5.5]. Seda on piisavalt, et jalgpallirobot suudaks vastastele konkurentsi pakkuda.

PALLI HAARAMIS MEHHANISM

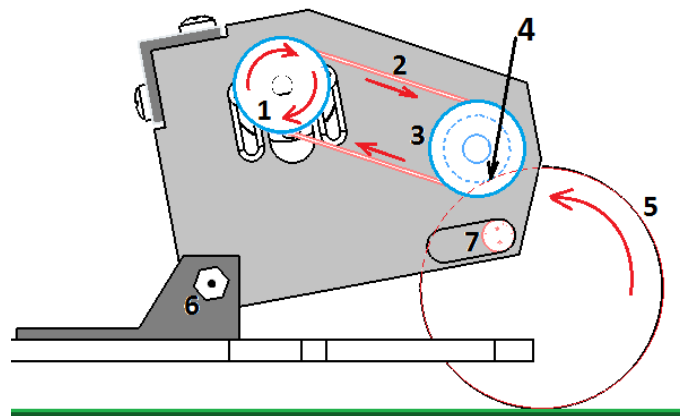
Palli haaramise mehhanism on seade, mille ülesanne on hoida plastmassist golfipalli enda küljes kinni ilma, et see roboti liikumise ajal eemale veereks. Selle võimekuse saavutamiseks kasutatakse pöörlevat silikonvoolikuga kaetud võlli. Silikoon omab suurt hõõrdetegurit ja haakub hästi plastmass palli pinnaga. Vaiba ja palli vaheline hõõrdetegur on märksa väiksem, seetõttu hakkab vaibaga kokku puutuv palli osa libisema ning võlliga kokku puutuv osa mitte. Võlli pöörlemine kantakse üle palli pöörlemiseks. Palli pöörlemisest tekib liikumine, mis on suunatud roboti kere suunas igal ajahetkel kui golfipall puudutab pöörlevat silikoonkattega võlli. Golfipall toetub vastu roboti konstruktsiooni, seega ei ole pallil sellel võimalust kuhugi veereda. Pöörlevat palli suudetakse kere suhtes ühe kohapeal paigal hoida, isegi kui robot liigub.

Joonistel 5.0 on näha alalisvoolumootor (punkt 0), mille völli on paigaldatud rihmaratas (punkt 1). Samuti on silikoon kattega völli (punkt 4) otsa kinnitatud teine hammasratas (punkt 3). Mootorist tulevad pöörded kantakse edasi üks ühele völli pööreteks, kasutades rihmülekannet (punkt 2). Mehhanismi konstruktsiooni esiosa on suuteline liikuma üles ja alla tänu põhjaplaadile kinnitatud liigendile (punkt 6).



Joonis 5.0 Haaramiseks mõeldud mehhanism

Joonisel 5.1 on punaste nooltega näidatud rihmarataste ja rihma liikumis suunad. Vedav rihmaratas(punkt 1) omab sama diameetrit mis veetav (punkt 3), seega rihmülekanne(punkt 2) mootorist tulevate pöörete arvu ei muuda, vaid annab selle 1:1 ülekande suhtega edasi. Küll aga muutub pöördemoment, sest mida suurem on raadius tsentrist, seda väiksemaks see pöördemomendi muudab. Rihmarattal olev pöördemoment ei ole võrdne palli puutuva võlli pöördemomendiga, sest mõlema diameeter on erinev. Suure pöördemomendi korral suudab mehhanism lihtsa vaevaga golfipalli pöörlema panna.



Joonis 5.1 Pöörlemise ülekandmine

Tootja kodulehel on antud andmed mille järgi mootori pöörete arv on **450 (RPM)** pöörat minutis[5.1]. Kalkulatsioonide tegemiseks teisendatakse pöörete arv sekunditesse [5.2], sest minut on liialt pikk ajaühik mille suhtes roboti tööd mõõta.

Samuti on tootjapoolt toodud välja mootori maksimaalne pöördemoment **25 Oz-In** [5.3] mis tähendab untsi tolli kohta. Ühe N/m väärtus on 141.6 Oz-In mille mõõtühiku teisendame Newtonit meetriks[5.4]. Kuna robot on väiksemõõtmeline masin ja pöörlevate detailide suurused sentimeetrites siis kasutatakse käsitletavas töös teisendust newtonit sentimeetri kohta[5.5].

Valemid:

$$RPS = \frac{RPM}{60}$$

$$Tq2 = \frac{Tq1}{Oz}$$

$$Tq3 = \frac{Tq2}{0.01}$$

$$Tq_{hammas} = \frac{Tq3}{r_{hammas}}$$

$$p_h = d_h * \pi$$

$$V_{1joon} = RPS * p_h$$

$$p_{võll} = d_{võll} * \pi$$

$$V_{2joon} = p_{võll} * RPS$$

$$p_{pall} = d_{pall} * \pi$$

$$RPS_{pall} = \frac{V_{2joon}}{p_{pall}}$$

Tähised

- RPM2 - mootori pöörete arv pöörat minutis, rpm;
- Oz – 1N/m teisendus, Oz-Inch;
- Tq1 – Tootjapoolne mootori pöördemoment, Oz-Inch;
- Tq2 – Pöördemomendi teisendus, N/m;
- Tq3 – Pöördemomendi teisendus, N/cm;
- d_h – Rihmaratta diameeter, cm;
- r_{hammas} – Rihmaratta raadius;
- π – constant;
- $d_{võll}$ – Võlli diameeter;
- d_{pall} – Palli diameeter, cm;

Arvutuskäik:

$$RPM2 = 450 \text{ rpm} \quad [5.1]$$

$$RPS = \frac{450}{60} = 7.5 \quad [5.2]$$

$$Oz = 141.6$$

$$Tq1 = 25 \text{ Oz-Inch} \quad [5.3]$$

$$Tq2 = \frac{Tq1}{Oz} = 0.176 \text{ N/m} \quad [5.4]$$

$$Tq3 = \frac{Tq2}{0.01} = 17.654 \text{ N/cm} \quad [5.5]$$

Kasutades valemeid raamatust „Mehhanismide ja masinate teooria“ teeme järgnevad pöördemomendi teisendused. Kalkulatsiooni [5.5] abil on leitud mootori pöördemoment 1cm

kaugusel völli tsentrist. Mootori völlile on kinnitatud rihmaratas diameetriga 1.54 cm [5.6] mille raadius on pool sellest [5.7].

Teades hammasatta raadiust ja ka mootori pöördemomendi, saab leida hammasratta poolt edasi antava pöördemomendi [5.8]

$$dh = 1.54 \text{ cm} \quad [5.6]$$

$$r_{hammas} = \frac{dh}{2} = 0.77 \text{ cm} \quad [5.7]$$

$$Tq_{hammas} = \frac{17.654}{0.77} = 22.987 \text{ N} \quad [5.8]$$

Pöörlevate kehade joonkiirus (cm/s) on suurus mis mängib käsitletava mehhanismi juures suurt rolli. Rihmarataste joonkiirused muutuksid kui ülekande suhe ei oleks 1:1. Praegusel juhul rihmülekande loomisel on kasutatud sama übermööduga [5.9] rihmarattaid .

Joonkiirus sõltub pöörleva objekti raadiusest ja pöörlemiskiirusest [5.10] juhul kui võrreldakse kahte objekti, mis on paigutatud samale völlile (Vt. Joonis 5.1. Punkt 3 ja 4).

$$pi = 3.142$$

$$ph = 1.54 * 3.142 = 4.838 \text{ cm} \quad [5.9]$$

$$V1_{joon} = 7.5 * 4.838 = 36.255 \text{ cm/s} \quad [5.10]$$

Leitud joonkiirusest [5.10] saab järeldada kui suur on rihmülekande rihma liikumiskiirus (Vt. Joonis 5.1 punkt 2). Ülekande suhe on 1:1 seega rihmarataste pöörlemiskiirused on võrdsed. Veetava rihmarattaga (Vt. Joonis 5.1. punkt 3) antakse pöörlemisvõime völlile (Vt. Joonis 5.1 punkt 4), mille ülesanne on pöörlema panna golfipall (Vt. Joonis 5.1 punkt 5). Teades völli diameetrit [5.11], leiame selle übermöödu [5.12]. Tuginedes mootorist tulenevale pöörlemiskiirusele [5.2] leitakse silikoon völli joonkiirus [5.13]. Völli joonkiirus on erinev hammasratta joonkiirusest, sest nende läbimöödud ei ole võrdsed.

$$d_{völl} = 1.429 \text{ cm} \quad [5.11]$$

$$p_{völl} = 1.429 * 3.142 = 4.489 \quad [5.12]$$

$$V2_{joon} = 4.489 * 3.142 = 33.67 \quad [5.13]$$

Joonkiirus ei sõltu raadiusest kui pöörleva völli joonkiirus kantakse üle palli joonkiiruseks. Tegu on pindade kokkupuutena tekkiva ülekandega. Palli pöörlemiskiirus tuleb märksa väiksem, sest palli übermõõt [5.15] on vedava völli übermõõdust [5.12] mitmeid kordi suurem (Vt. Joonis H. punkt 4 ja 5), kuigi joonkiirused on võrdsed.

Joonisel H punkt 4 on silikoniga kaetud völli pinna ja palli pinna kokkupuute punkt. Pöörlev völli suudab tekitada pallis pöörlemise, mis on suunatud roboti enda suunda (Vt. Joonis H. punkt 5).

Võttes joonkiiruse [5.13] ja jagades selle golfipalli übermõõduga [5.15] leitakse golfipalli pöörlemiskiirus [5.16], mis tuleb ümardatult 2.5 pööret sekundis. Seda juhul kui silikoonkattega völli palli oma haardes hoiab.

$$d_{pall} = 4.3 \text{ cm}$$

$$p_{pall} = 4.3 * 3.142 = 13.509 \text{ cm} \quad [5.15]$$

$$RPS_{pall} = \frac{33.67}{13.509} = 2.492 \text{ rps} \quad [5.16]$$

Kasutades liigendit (Vt. Joonis 5.1. punkt 6) omandab mehhanism võime haarata pall völli alla. Kogu konstruktsioon on liikuv ja silikoon völli kerib ennast palli peale eesmärgiga palli kindlamalt haardes hoida.

Triblaja mehhanismi ülesanne lisaks palli kinni hoidmisele on ka selle tuvastamine. Selleks on konstruktsiooni seinte sees olevatesse avadesse paigutatud infrapuna valgusdiodid ning infrapuna valgust tuvastav andur (Vt. Joonis 5.1. Punkt 7 ja 8).

Joonisel 5.1 punkt 7 on valgusdiodid, mille ülesanne on saada infrapuna kiirgust vasakpoolsest seinakonstruktsioonist parempoolsesse seinakonstruktsioonini. Joonisel 5.1 punkt 8 on väike ava, mille sees paikneb infrapuna kiirgust tajuv andur. Pallituvastus mehhanismi töö põhimõte on järgnev. Kui pall on haaramise mehhanismi poolt haaratud, siis infrapuna andur ei suuda tuvastada infrapuna kiirgust, sest pall (Vt. Joonis 5.1. punkt 5) takistab selle trajektoori (Vt. Joonis 5.1 punkt 7). Juhul kui infrapuna kiirgus langeb andurile, suudetakse sellest teha järeldus, et palli ei ole hektel haaratud ning tuleb tegeleda pallide otsimise. Kogu seda protsessi jooksutatakse tarkvara algoritmina.

LÖÖGIMEHCHANISM

Käesoleva projekti raames loodava jalgpalliroboti üheks vajalikuks omaduseks on palli liikuma löömise võime. Ülesanne on veeretada pallid vastase väravasse mistahes moel. Sooritusaja kokkuhoiu eesmärgil on projekteeritud mehhanism, mis võimaldab väljaku ühest otsast teise palle veeretada ilma, et robot sealt lahkuma peaks. Löögimehhanismi rahvapärane nimetus on „coilgun“. Nimi coilgun on otseselt seotud sõnaga „coil“ ehk ingliskeelest tõlgituna „mähis“.

Löögimehhanismi ehituses on kasutusel vasktraadist keritud mähis ehk elektromagnet (Vt. Joonis 6.0 punkt 3). Kui mähise traadist lasta läbi voolata elektrilaengu, tekib selle tagajärjel elektromagnetväli, mis hakkab terasest pulka (Vt. Joonis 6.0 punkt 1) enda sisse tõmbama. Tekkiva tõmbejõu tugevus sõltub mähise mõõtudest ja elektri laengu tugevusest. Suurendades mähisetraadi kihtide arvu, saab väiksema elektrilaengu korral samaväärse induktiivsuse tekitada. Kindlat elektrilaengu väärtust oleks mõistlik määrata katsetamise teel.

Kui elektromagnet on teraspulga (punkt 1) enda sees olevasse õõnsusesse (punkt 2) tõmmanud, liigutatakse kogu ülejäänud konstruktsiooni selle arvelt suunaga edasi. Terasest pulk on kinnitatud detailile (punkt 6) mis omakorda kinnitub kahele alumiinium vardale. Vardad läbivad plastmassist torusid (punkt 9), millest teisele poole on monteeritud sahk. Saha ülesanne on golfipallid veerema lüüa.

Kogu mehhanism on paigutatud jalgpalliroboti põhjaplaadi külge vastava konstruktsiooni abiga (punkt 8) sedasi, et löömiseks mõeldud sahk (Vt. Joonis 6.0 punkt 7) liiguks otse roboti esiosa suunas. Alumiiniumist vardaid (punkt 4) ümbritseva vedru (punkt 5) ülesanne on löögimehhanism tagasi endisesse asendisse suruda peale seda kui elektromagnetväli lakkab terasest pulka (punkt 1) enda sees hoidmast.

Tootjapoolt antud vedru vastupanu jõu väärtust 1 tolli kohta on F_{V_IN} . Kui see teisendada sentimeetriteks[6.1] saame arvutada minimaalse vajaliku tõmbejõu ühe vedru kohta [6.2] mida elektromagnetväli peab olema suuteline rakendama .

Tähised:

F_{V_IN} – Vedru vastupanu jõud 1 tolli kohta

Inch = toll , teisendatuna 2.54cm.

F_{V_CM} – Vedru vastupanu jõud 1 cm kohta, N/cm;

L – Terasest pulga pikkus, cm;

F_{Mahis} – Minimaalne tõmbejõud mida peab rakendama mähis, tõmbamaks teras pulka enda sisse.

Valemid:

$$F_{V_CM} = \frac{F_{V_IN}}{Inch}$$

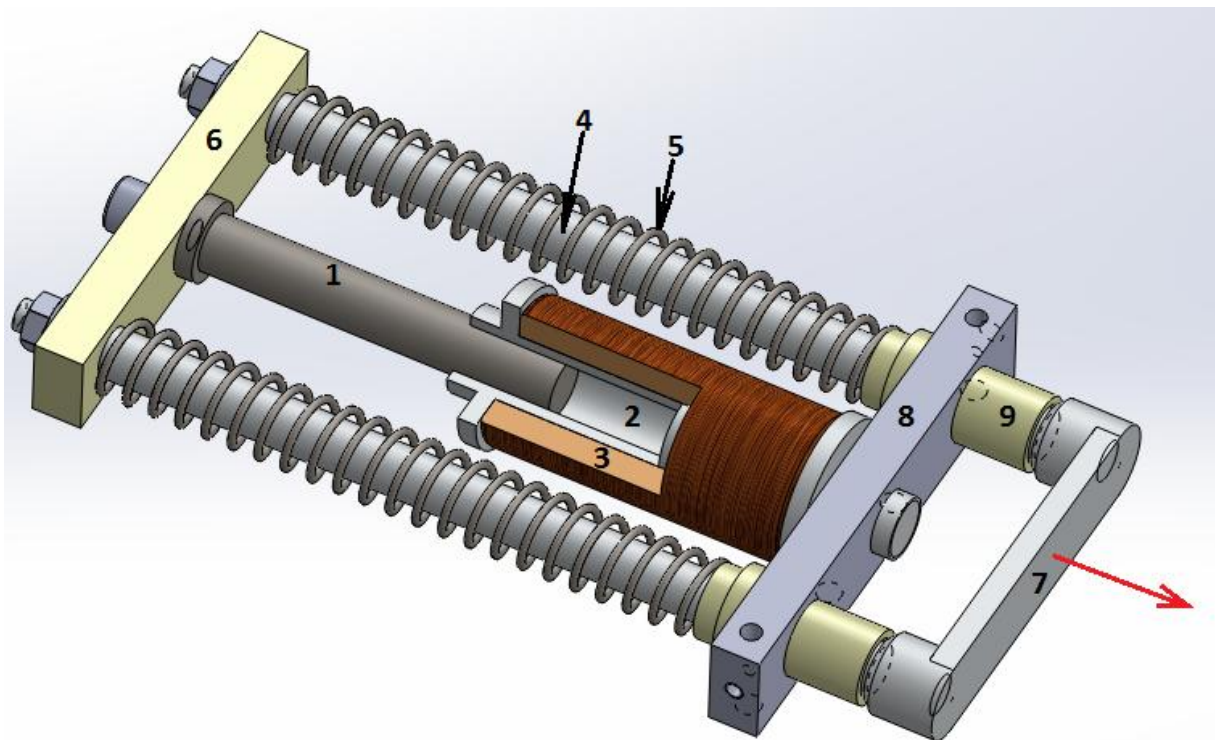
$$F_{Mahis} = L * F_{V_CM}$$

Arvutus:

$$L=6.1\text{cm}$$

$$F_{V_CM} = \frac{6.4N}{2.54} = 2.53 \frac{N}{cm} \quad [6.1]$$

$$F_{Mahis} = 6.1\text{cm} * 2.53 \frac{N}{cm} = 15.43N \quad [6.2]$$



Joonis 6.0 lõõgimehhanism

Mähise tekitatud elektromagnetväli mõjutab terasest detaile, aga mitte alumiiniumist roboti osasid.

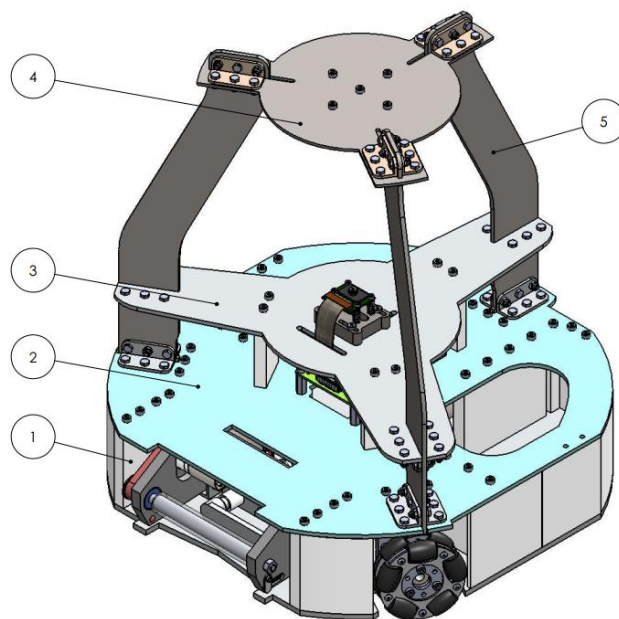
KERE KONSTRUKTSIOON

Jalgpalliroboti kere konstruktsiooni loomisel on arvestatud maksimaalseid lubatud gabariitmõõtmeid. Projekteeritud konstruktsiooni diameeter on 326mm ja kõrgus 326mm . Reeglite poolt määratletud maksimum mõõdud ei tohi ületada 350mm läbimõõtu ega kõrgust. Varu ruumi on 24mm nii kõrguse kui läbimõõdu suhtes.

Loodud kerekonstruktsioon sisaldab nelja korrust (Vt. Joonis 7.0). Esimesel korrusel paiknevad mootorid, rattad, löögimehhanism, palli haaramis mehhanism, kere enda tugikonstruktsiooni talad ja lisaks on ruumi veel akude ning erinevate elektroonika komponentide jaoks. Kõik plastikust loodavad detailid on mõeldud 3d printimiseks.

Teisele korrusele on paigutatud arvutimoodul ning tugitalad kaameraaluse plaadi stabiilsena hoidmiseks. Kolmas korrus on pelgalt optika päralt. Kuna vaateväli peab olema vaba, siis ei paigaldata optika vahelisele alale ühtegi detaili. Kaamera alla paikneb väike kalibreerimis konstruktsioon. Neljas korrus kujutab endast hüperbool peeglit õiges punktis hoidvat konstruktsiooni osa (punkt 4). Selle konstruktsiooni osa alumisele küljel asub peegel mida kasutatakse nägemisvälja laiali peegeldamiseks. Hüperboolpeegli fookuspunkt peab asuma 310 mm kõrgusel maapinnast (Vt.Joonis 2.7). Tugitalade (punkt 5) kõrgus on loodud saavutamaks õiget peegli asukohta kaamera suhtes.

Küljepeal asetsevad 3 tugitala (Vt. Joonis 7.0 punkt 5) on paigutatud sedasi, et kaamera nägemisväljast vaadatuna tuvastatakse tala ainult kitsast külgepidi. Sisuliselt ei ole talad roboti masinnägemisvõimet kahandavad detailid.



Joonis 7.0 Roboti konstruktsioon

REEGLITELE VASTAVUS

Roboti projekteerimisel on võetud arvesse ROBOTEX 2015 aasta reegleid. Jalgpalliturniir toimub väljakul mille pikkus on **4,5m** ja laius **3m**. Väljaku nurkades asuvad stardipositsioonid kuhu on paigutatud ka robotid (vt joonis 8.0).



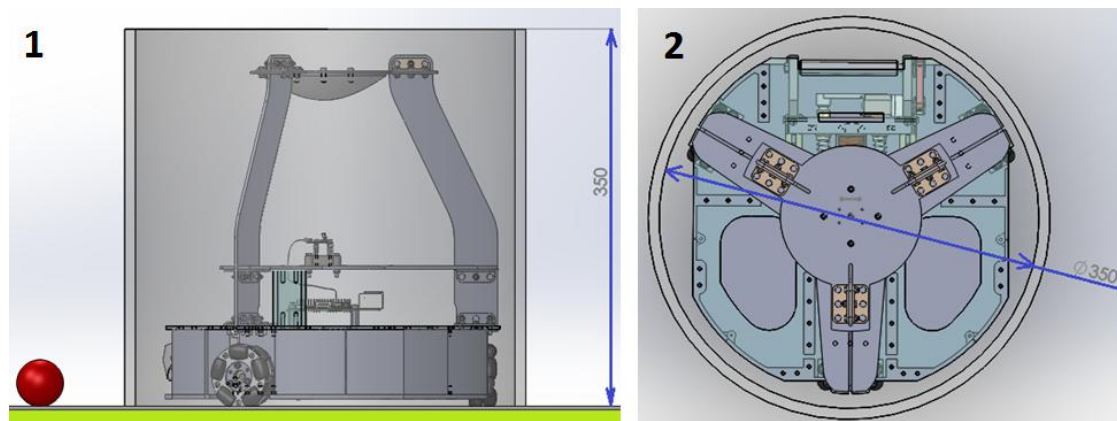
Joonis 8.0 Väljak ja paiknemine

Must joon tähistab võistlusala piiri millest pall üle veereda ei tohiks, muidu eemaldab kohtunik selle väljakult. Robotile selliseid piiranguid ei ole ette seatud, seega väljakult lahkumine ei too diskvalifitseerimist. Valged jooned aitavad masinnägemise kaudu väljaku piire tuvastada. Nende abil saab vältida mänguväljakult lahkumist.

Jalgpalliväljaku kahes otsas on eri värvi väravad mõõtmetega **421mm** kõrgus ning **700mm** laius. Kollane ja sinine värv on vajalik robotnägemise kaudu vastasvõistkonna värava suuna tuvastamiseks.

Roboti maksimaalsed gabariitmõõtmed on korraldaja poolt ette antud: kõrgus on **350mm** ja diameeter **350mm**. Neid mõõte kontrollitakse enne võistleva asumist silindriga. Jooniselt (8.1 punkt 1) on näha külgvaade ja (punkt 2) on pealtvaade.

Kuna robot mahub silindrisse ning jääb ka natuke lisaruumi, siis vastab konkreetne disain nõuetele.



Joonis 8.1 Kontrollsilindris paiknemise külgsuure ja pealtvaade

Lisaks gabariitmõõtmetele tuvastatakse ka roboti mass, mis ei tohi ületada **8kg**.

Tuginedes projekteerimis tarkvara arvutustele tuleb kogu roboti mehaanika kaaluks **5,88 Kg** (Vt. „Jalgpalli robot“ kooste joonis). 2,12Kg jääb vaba kaaluruumi elektroonika moodulite ja akude jaoks.

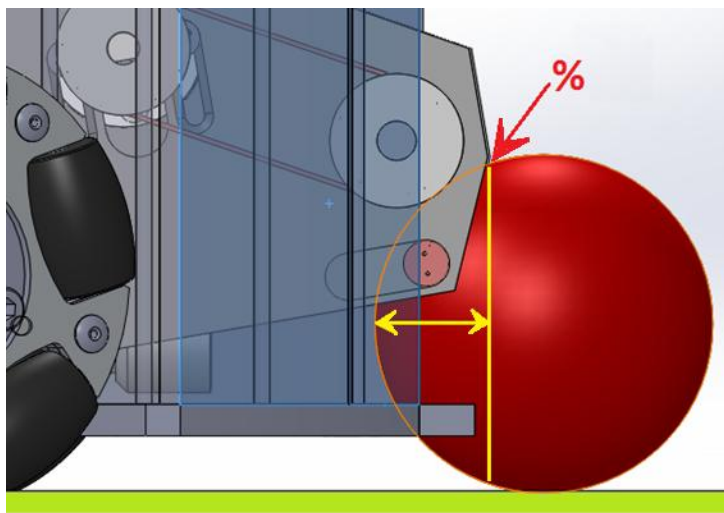
Võistluse läbiviiseks on mänguväljakule laotatud 11 golfipalli [8] suvalises asetuses. Pallid on ettemääratud tootjapoolt valmistatud, et vältida kaalu, diameetri ja värvitooni erinevust.

Tabel 2. Golfipalli tootjapoolsed andmed [8].

Mudel	Värv	Kaal	Diameeter
Sirixon AD333	Oranž	46g	43mm

Reeglistikus on välja toodud piirang pallide hoidmise kohta. Golfipall ei tohi veereda rohkem kui 50% oma diameetrist roboti konstruktsiooni alla. Selle reegli rikkumisel diskvalifitseeritakse robot võistluselt.

Joonisest 8.2 on näha, et loodud roboti konstruktsiooniline lahendus vastab nõuetele, kuna pallist ~40% siseneb konstruktsioonide vahele/alla.



Joonis 8.2 Palli paiknemine konstruktsioonide vahel

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö tulemusena projekteeriti kolmerattaline 360 kraadi ümber iseenda telje nägeva optikasüsteemiga jalgpalli roboti mehaanika pool. Kogu konstruktsiooni loomisel arvestati materjalidega ja standartsete detailidega, mida on võimalik hõlpsasti poodidest ja kataloogidest hankida.

Isevalmistatavate detailide loomiseks kasutatakse PLA plastmassi, alumiiniumit ja terast. Kõik plastikust valmistatud detailid on mõeldud 3d printimiseks.

Kriitilised faktorid, mida projekteerimisel silmas peeti, olid nõuded mis on varasemalt ette antud kolmandate osapoolte poolt. Tähtis oli jälgida lõpptulemusena väljakujunenud kogukaalu, mis tuli ~5.88Kg ainult mehaanika konstruktsiooni kohta. Maksimaalsest kaalust (8kg) puudujääv varu saab kuuluma elektroonika komponentida paigutamiseks. Elektroonika ei olnud selle projekti sisse arvestatud. Seega tuli kaal luua selline, et ka akudel ning elektroonika moodulitel oleks kaalulimiidi mitteületamiseks ruumi.

Projekti sisse sai arvatud mõningad elektroonika komponendid. Arvutimoodul ja kaamera olid siiski vajalikud komponendid ilma milleta ei oleks optikasüsteemi projekteerida saanud. Optikasüsteem tugines hüperbool peeglil ehk mehaanilisel detailil, mille pinna karedus on vaja lihvida niivõrd väikeseks, et see suudaks peegeldada kõike ümbritsevat allpool asuvale kaamera läätsle.

Jalgpalliroboti suurimad lubatud mõõtmed sai loodud vastavalt etteantud piirangutele. Veeremisvõime loomisel valitud mootorite tulemusena omandas robot liikumiskiiruse ~0.7 meetrit sekundis, mis on igati mõistlik kiirus konkurentsivõimes püsimiseks.

Palli kinnihoidmiseks mõeldud mehhanismi töö projekteeriti vastav, et silikoon kattega võlli poolt enda alla haaratud golfipall ei oleks konstruktsioonide poolt kaetud rohkem kui 50% palli läbimõõdust. Selle protsendi rikkumise korral võidakse robot võistluselt diskvalifitseerida.

Palli löögimehhanismi õige löögitugevuse saavutamiseks tuleb projekteerida elektrooniline süsteem selleks, et akudes paiknev laeng elektromagnetisse suunata. See ei ole hektel loodud projekti osa, kuid roboti valmishitamise korral on vajadus selle järgi suur.

Tulevaste katsetuste käigus võib selguda, et mõne metallist detaili võib plastmassist 3d printida juhul kui on ilmne, et metallist detaili loomise protsess saab olema liialt kulukas. Seda ainult juhul kui PLA 3d printitud plastik avalduvatele jõududele vastu peab.

Summary

At result of this project, three wheeled omnidirectional soccer robot what also have omnidirectional vision system was designed. Omnidirectional robot have ability to move in to any direction without need to turn the body of robot. Omnivision gives chance to see 360 degrees around itself at any given moment of time.

At process of constructing soccer robot materials what are easily to access were chosen to build up body and all the other details.

Wides pread PLA plastic ,aluminium and steel were chosen to do this job. All the plastic details are planned to be 3D printed . That will reduce production time and cost. Critical factors about soccer robot were height, width, weight. The maximum weight what is allowed by the „Robotex“ contest rules is 8Kg. At end of designing process all detail weight were measured and counted together. Total amount of weight what came was 5.88Kg. So it means that there is 2.12 kg free weight what will be used to place some battery's and other electronics modules in to the robot.

Complete soccer robot maximum height and width is fitting in to the allowed measures .

After choosing right DC motor to roll the wheels and to put robot to move , the real moving speed was calculated and it came good enough to stay in to the concurrence. Calculated speed came ~0.7m/s. This is average robot speed what is competing on the soccer robots contest.

Golf ball ability to roll under the body construction more than 50% of its diameter was blocked. So chance to get disqualified because of that is eliminated . If future testings will proof that some metal detail should be replaced with 3d printed plastic detail , it will be accepted until that plastic will be able to resist all the force.

KASUTATUD ALLIKAD

1. Robotex - reegliid. Kättesaadav [WWW]
<http://2016.robotex.ee/docs/file/2016/Reegliid/Robotex%202016%201vs1%20Jalgpalli%20reegliid.pdf> (17.08.2018)
1. POULU - DC mootor [WWW]
<https://www.pololu.com/product/1162> (15.08.2018)
2. POULU - DC mootor [WWW]
<https://www.pololu.com/product/2823> (15.08.2018)
3. ROBOTSHOP.com – omniwheel [WWW]
<https://www.robotshop.com/en/60mm-aluminum-omni-wheel.html> (10.08.2018)
4. ROBOTSHOP.com – mounting hub [WWW]
<https://www.robotshop.com/en/6mm-aluminum-mounting-hub-60mm-omni-wheel.html>
(10.08.2018)
5. BALTIC BOLT – poldid, kruvid, mutrid [WWW]
<http://www.balticbolt.ee/toode.php?show=products&parentID=1> (15.08.2018)
6. RASPBERRY pi – kaameramoodul [WWW]
<https://www.raspberrypi.org/products/camera-module-v2/> (15.08.2018)
7. Arvutimoodul – ASUS tinkerboard S [WWW]
<https://www.asus.com/Single-Board-Computer/Tinker-Board-S/> (14.08.2018)
8. Golfipall – Srixoni AD333 [WWW]
https://www.srixon.co.uk/en_GB/balls/all-ability/ad333-pure-white/MAD333.html
(17.08.2018)
9. Alas kuul AS – Laager 625SKF [WWW]
<https://www.alas-kuul.ee/roostevaba-radialkuullaager-w-625-skf> (17.08.2018)
10. METALL24 – lehtmetsallid [WWW]
<http://www.metall24.ee/> (14.08.2018)
11. RONEX – PLA plastmass [WWW]
http://www.ronex.ee/Tootekataloog/3D_materjalid (17.08.2018)
12. MAEDLER – rihmaratas [WWW]
<http://info.maedler.de/product/1643/1616/986/zahnriemenraeder-t25-fuer-riemenbreite-6-mm-aus-kunststoff> (15.08.2018)
13. MAEDLER – ülekande rihm [WWW]

<http://info.maedler.de/product/1643/1126/2711/955/zahnriemen-profil-t-25-breite-6-mm>
(15.08.2018)

14. THESPRINGSTORE – vedrud [WWW]
<https://www.thespringstore.com/pc038-500-23000-mw-4190-cg-n-in.html> (16.08.2018)

15. FARNELL – IR emitter [WWW]
<https://ee.farnell.com/optek-technology/op133/ir-emitter-to-46-935nm/dp/3167549>
(15.08.2018)

16. FARNELL- IR sensor [WWW]
<https://uk.farnell.com/vishay/tsop4838/ir-receiver-38khz/dp/4913190> (15.08.2018)

17. FREUDENBERG silikoon voolik [WWW]
<https://www.freudenbergmedical.com/en/what-we-offer/products/biopharmaceutical-tubing/helixmark%C2%AE/-helixmark-standard-silicone-tubing-size-chart/> (14.08.2018)

18. OOMIPOOD mähisetraat [WWW]
<https://www.oomipood.ee/category/mahisetraat> (17.08.2018)

19. COILGUN – [WWW]
<https://www.coilgun.info/about/home.htm> (15.08.2018)

20. MATHWORLD - [WWW]
<http://mathworld.wolfram.com/Hyperbola.html> (15.08.2018)

21. IFI.UZH.CH - [WWW]
<http://www.ifi.uzh.ch/en/ailab/research/scaramuzza.html> (12.08.2018)

22. ELECTRONICS STACLEXCHANGE [WWW]

23. EXTRAVERSION – units [WWW]
<http://extraconversion.com/energy/inch-ounces/inch-ounces-to-newton-meters.html>
(12.08.2018)

24. ROBOTSHOP omniwheel [WWW]
<https://www.robotshop.com/de/de/3-rad-antrieb-48mm-omni-rad-mobiles-roboter-kit.html>
(13.08.2018)

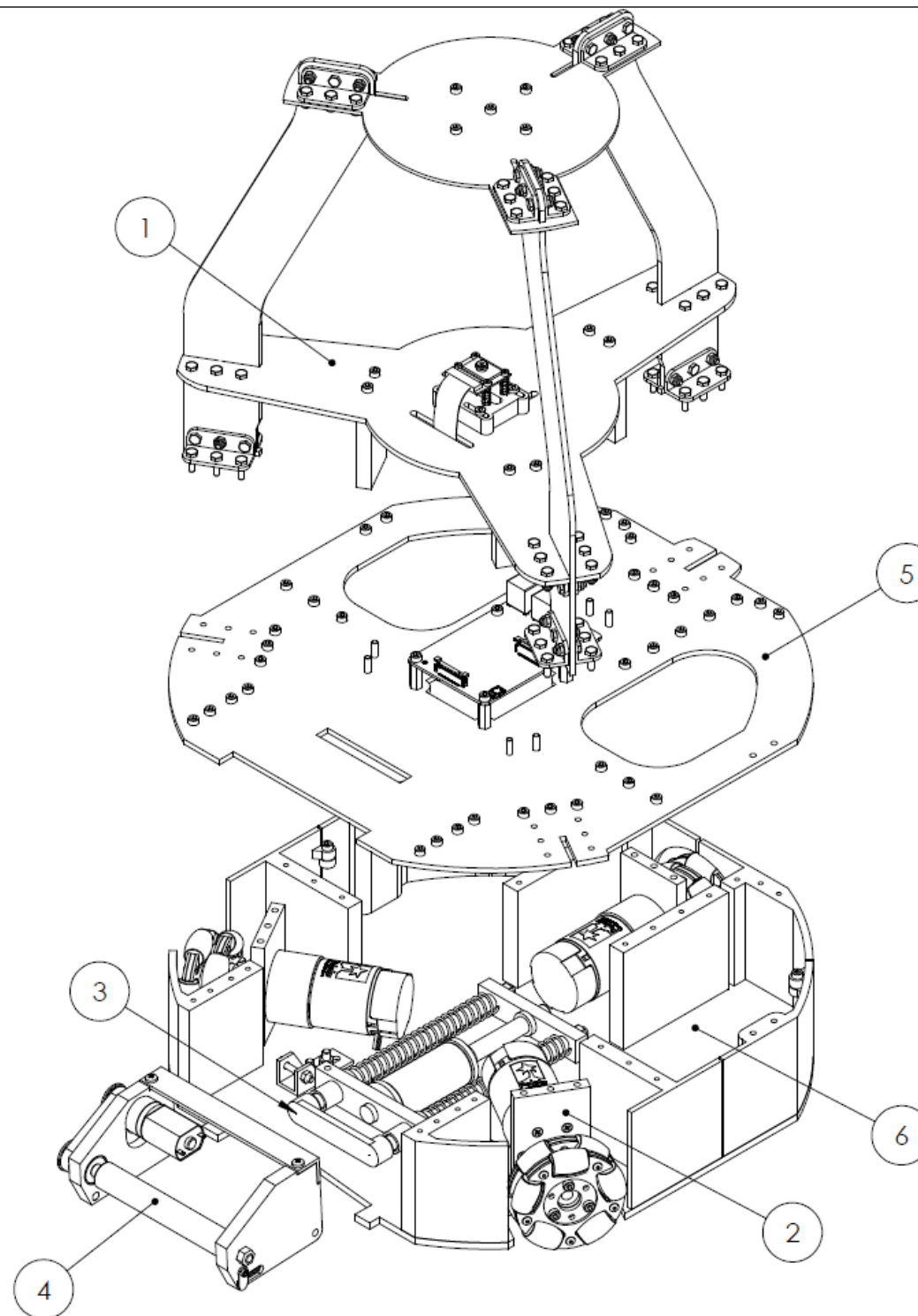
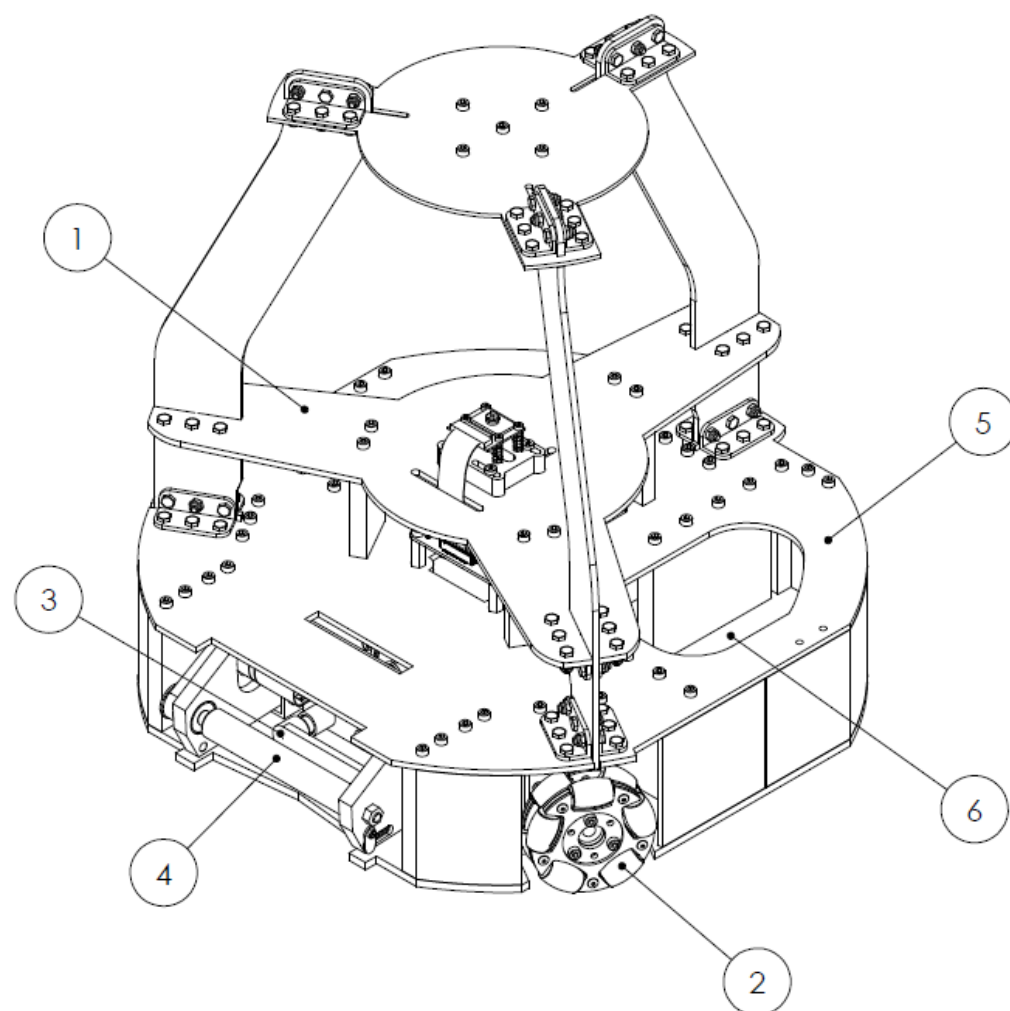
25. Mehaanikainseneri käsiraamat –



Kulu, P., Hendre, E. Mehaanikainseneri käsiraamat. – Tallinn: TTÜ kirjastus, 2012



26. Mehhanismide ja masinate teooria - I.I. Artobolevski. – Tallinn: Eesti riiklik kirjastus, 1961

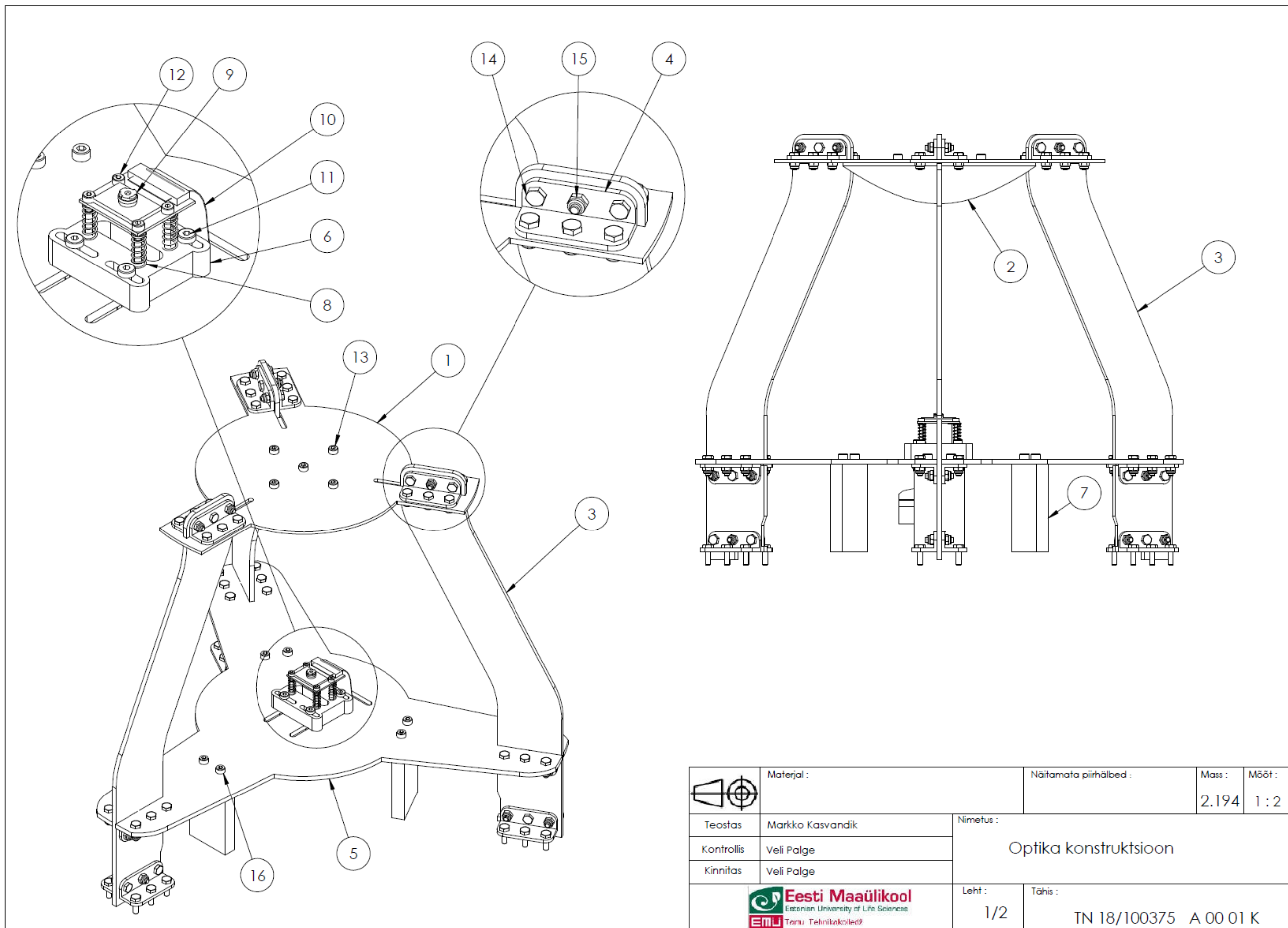
27. OMNI LIIKUMIS TRAJEKTOORID – vektorid
<https://www.robotshop.com/de/de/3-rad-antrieb-48mm-omni-rad-mobiles-roboter-kit.html>
(12.08.2018)

Lisa A Koostejoonised





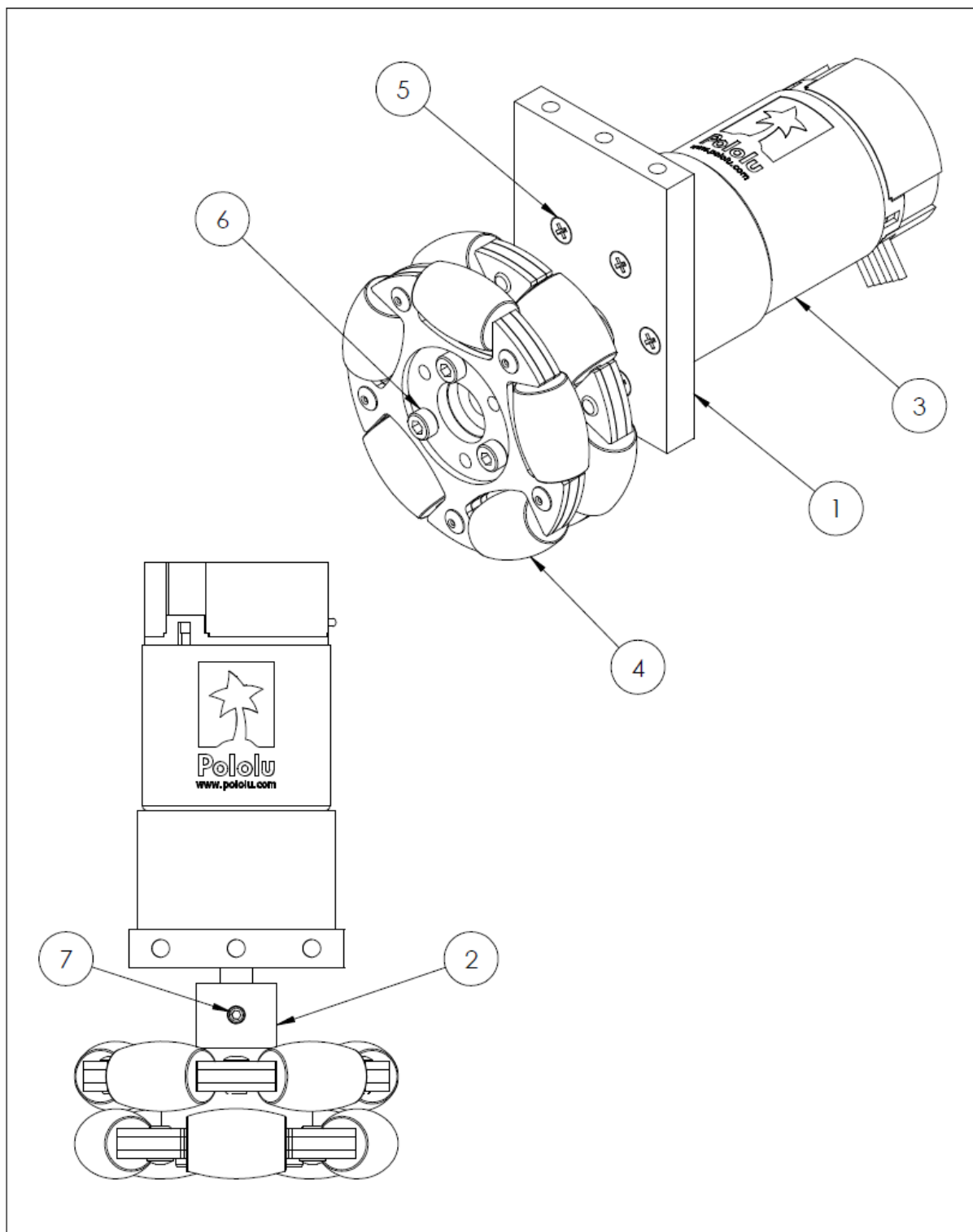
	Materjal :		Näitamata piirhälbed :	Mass :	Mõõt :
				5.88 Kg	1 : 3
	Teostas	Markko Kasvandik	Nimetus : Jalgpalli robot		
	Kontrollis	Veli Palge			
	Kinnitas	Veli Palge			
			Leht : 1/2	Tähis : TN 18/100375 G 00 01 K	

6	6	Kere konstruktsioon	TN 18/100375 F 00 01 K	2	1.157Kg
5	5	Keskmine plaat arvutiga	TN 18/100375 E 00 01 K	1	0.6Kg
4	4	Palli haaramis mehhanism	TN 18/100375 D 00 01 K	1	0.48Kg
3	3	Löögimehhanism	TN 18/100375 C 00 01 K	1	0.4Kg
2	2	Ratta konstruktsioon	TN 18/100375 B 00 01 K	3	1.05Kg
1	1	Optika konstruktsioon	TN 18/100375 A 00 01 K	1	2.194Kg
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal :	Näitamata piirhälbed :	Mass :	Mööd :
				5.88 Kg	
Teostas	Markko Kasvandik		Nimetus : Jalgpalli robot		
Kontrollis	Veli Palge				
Kinnitas	Veli Palge				
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž			Leht :	Tähis :	
			2 / 2	TN 18/100375 G 00 02 K	

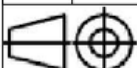



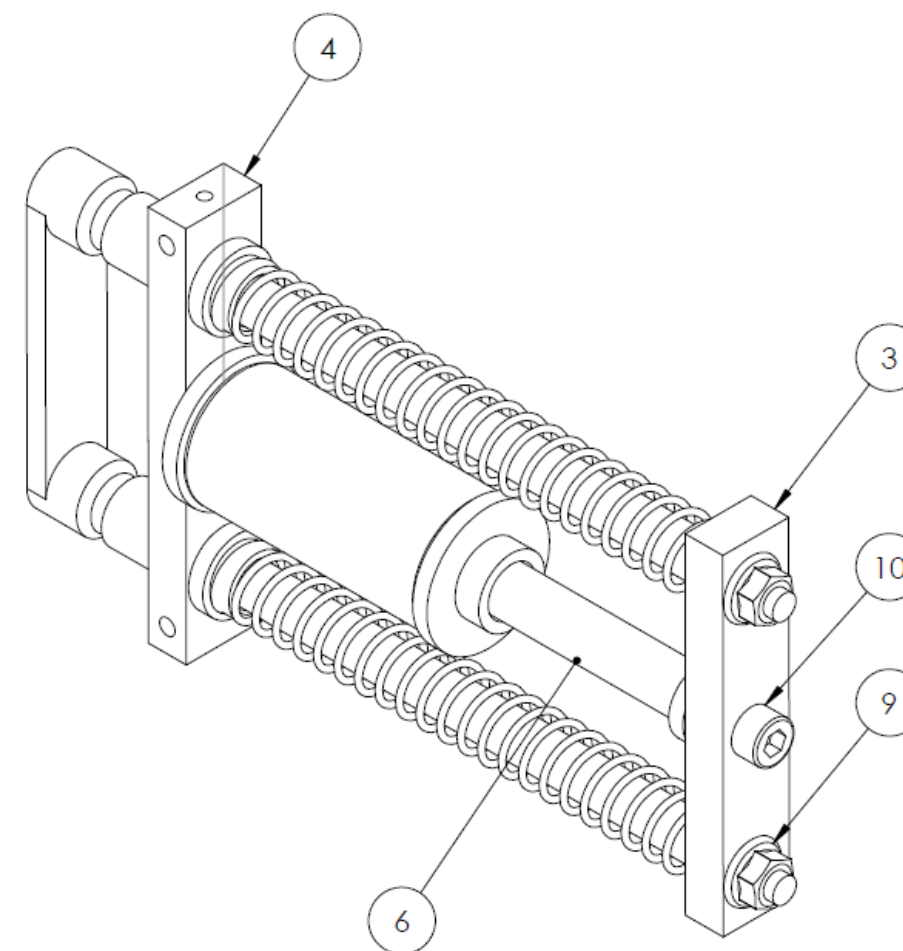
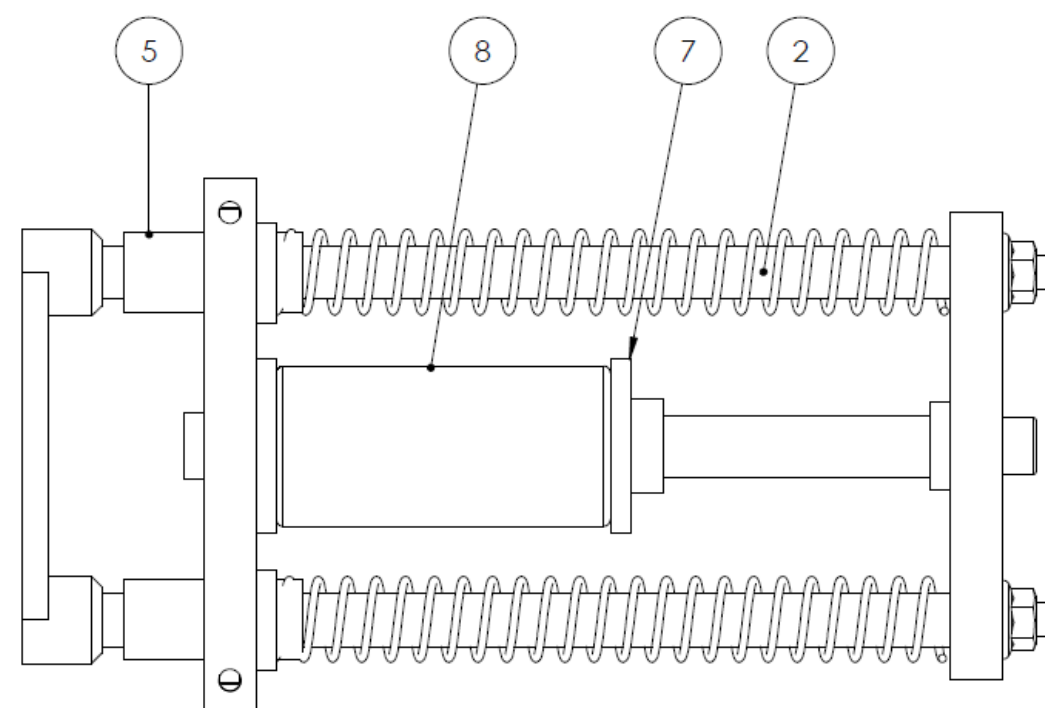
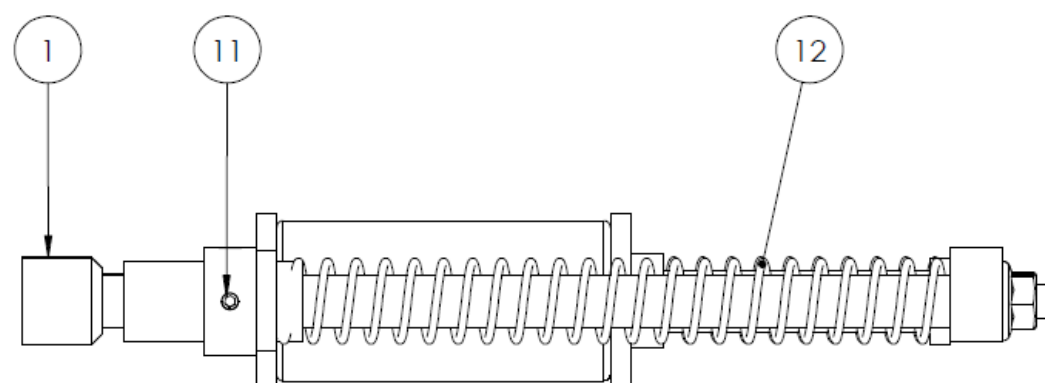
	Materjal :	Näitamata piirhälbed :	Mass :	Mõõt :
			2.194	1 : 2
Teostas	Markko Kasvandik	Nimetus : Optika konstruktsioon		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
	Leht : 1/2	Tähis : TN 18/100375 A 00 01 K		

16		Kruvi M3x18	DIN912	6	0.006Kg
15		Mutter M3 DIN980	DIN980	85	0.085Kg
14		Polt M3x10 DIN24017	DIN24017	81	0.081Kg
13		Kruvi M3x10 DIN912	DIN912	5	0.05Kg
12		Kruvi M2x20 DIN912	DIN912	4	0.04Kg
11		Kruvi M3x20 DIN7984	DIN7984	4	0.04Kg
10		Kaamera riba kaabel		1	0.02Kg
9		Kaamera moodul	V2.0	1	0.04Kg
8		Survevedru 70358s	70358s	4	0.06Kg
7		Tugitala 1	TN 18/100375 A 01 07 D	3	0.012Kg
6		Kaamera kinnitus konstruktsioon	TN 18/100375 A 01 06 D	1	0.09Kg
5		Vahelagi 1	TN 18/100375 A 01 05 D	1	0.23Kg
4		Kolmnurk liide	TN 18/100375 A 01 04 D	18	0.1Kg
3		Optika konstruktsiooni tala	TN 18/100375 A 01 03 D	3	0.71Kg
2		Hüperbool peegel	TN 18/100375 A 01 02 D	1	0.36Kg
1		Pealmine plaat	TN 18/100375 A 01 01 D	1	0.27Kg
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal :	Näitamata piirhõlbed :	Mass : 2.194	Mõõt : 1:2
Teostas	Markko Kasvandik		Nimetus :		
Kontrollis	Veli Palge		Optika konstruktsioon		
Kinnitas	Veli Palge				
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences EMÜ Tartu Tehnikakolledž			Leht :	Tähis :	
			2 / 2	TN 18/100375 A 00 02 K	





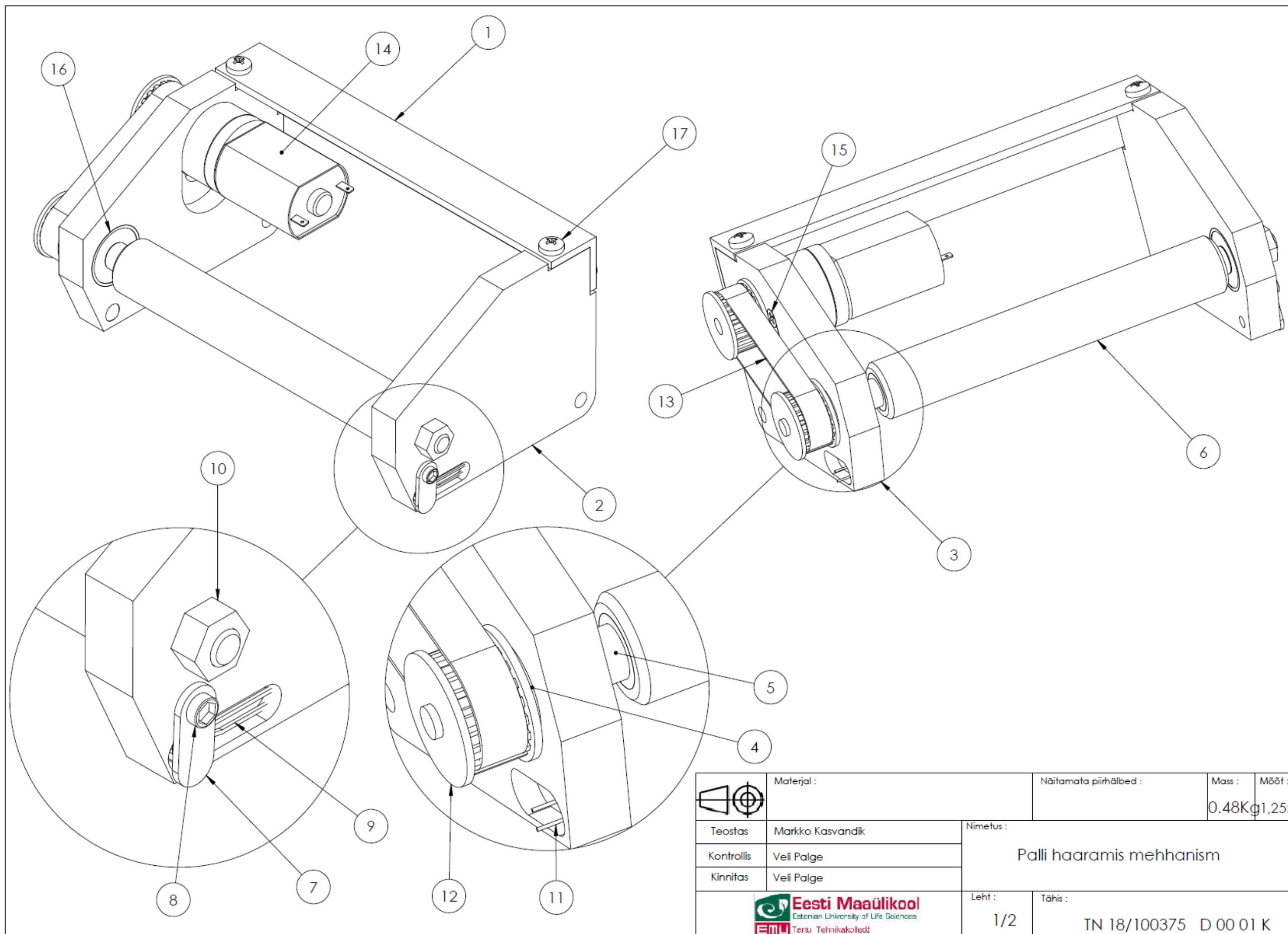
	Materjal :	Näitamata piirhälbed :	Mass :	Mõõt :
Teostas	Markko Kasvandik	Ratta konstruktsioon		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences EMU Tartu Tehnikakolledž		Leht : 1 / 2	Tähis : TN 18/100375 B 00 01 K	

7		Kuuskant kruvi	DIN 914	1	0.001Kg
6		Kruvi M3x20	DIN 7984	3	0.003Kg
5		Peitepeaga kruvi M3x10	DIN ISO 7046-1	6	0.006Kg
4		Topelt alumiinium ratas	60Dx12L mm	1	0.073Kg
3		Mootor POULU 50:1	37Dx70L mm	1	0.21Kg
2		Ratta adapter	TN 18/100375 B 02 01 D	1	0.012Kg
1		Ratta kinnitus konstruktsioon	TN 18/100375 B 01 01 D	1	0.04Kg
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
	Materjal :		Näitamata piirhálbed :	Mass :	Mõõti :
				0.35Kg	1:1
Teostas	Markko Kasvandik		Ratta konstruktsioon		
Kontrollis	Veli Palge				
Kinnitas	Veli Palge				
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences EMU Tartu Tehnikakolledž			Leht :	Tähis :	
			2 / 2	TN 18/100375 B 00 02 K	

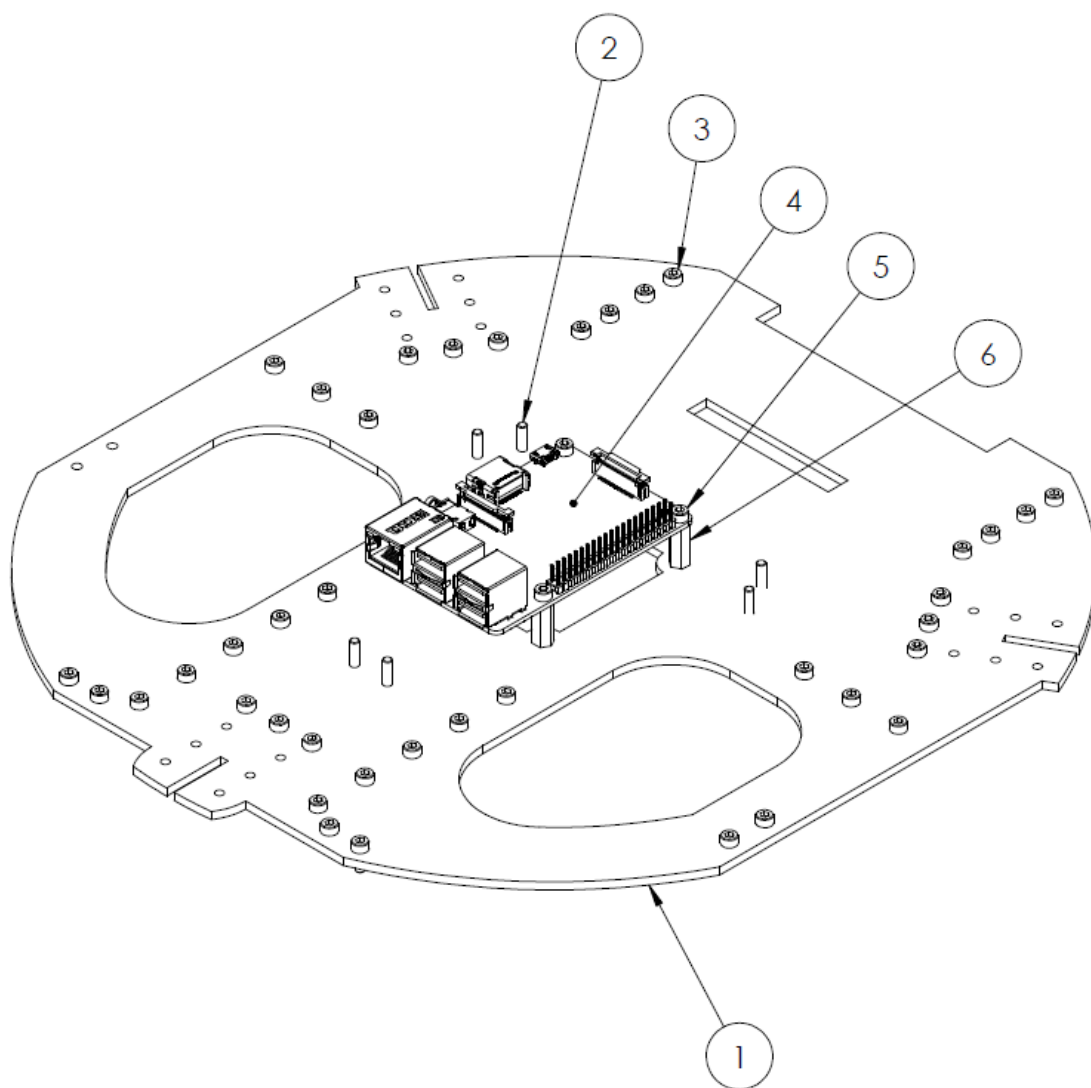


	Materjal :		Näitamata piirhõlbed :	Mass :	Mõõt :
				0.4Kg	1 : 1
	Teostas	Markko Kasvandik	Löögimehhanism		
	Kontrollis	Veli Palge			
	Kinnitas	Veli Palge			
			Leht :	Tähis :	
			1/2	TN 18/100375 C 00 01 K	



12		Survevedru 12x100mm	PC038-mw-4190-cg-n-in	2	0.04Kg
11		Peata kruvi M3x6mm	DIN 914	2	0.002Kg
10		Kruvi M5x8mm	DIN 912	1	0.002Kg
9		Mutter M5	DIN 6923	2	0.002Kg
8		Mähise traat 0.8mm	ISO TS 16949	1	0.1Kg
7		Mähise konstruktsioon	TN 18/100375 C 01 07 D	1	0.035Kg
6		Südamik	TN 18/100375 C 01 06 D	1	0.04Kg
5		Konstruktsiooni osa 4	TN 18/100375 C 01 05 D	2	0.04Kg
4		Konstruktsiooni osa 3	TN 18/100375 C 01 04 D	1	0.04Kg
3		Konstruktsiooni osa 2	TN 18/100375 C 01 03 D	1	0.02Kg
2		Varras	TN 18/100375 C 01 02 D	2	0.06Kg
1		Konstruktsiooni osa 1	TN 18/100375 C 01 01 D	1	0.02Kg
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal :	Näitamata piirhälbed :	Mass : 0.4Kg	Mõõt : 1:1
Teostas	Markko Kasvandik		Löögimehhanism		
Kontrollis	Veli Palge				
Kinnitas	Veli Palge				
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž			Leht : 2 / 2	Tähis : TN 18/100375 C 00 02 K	

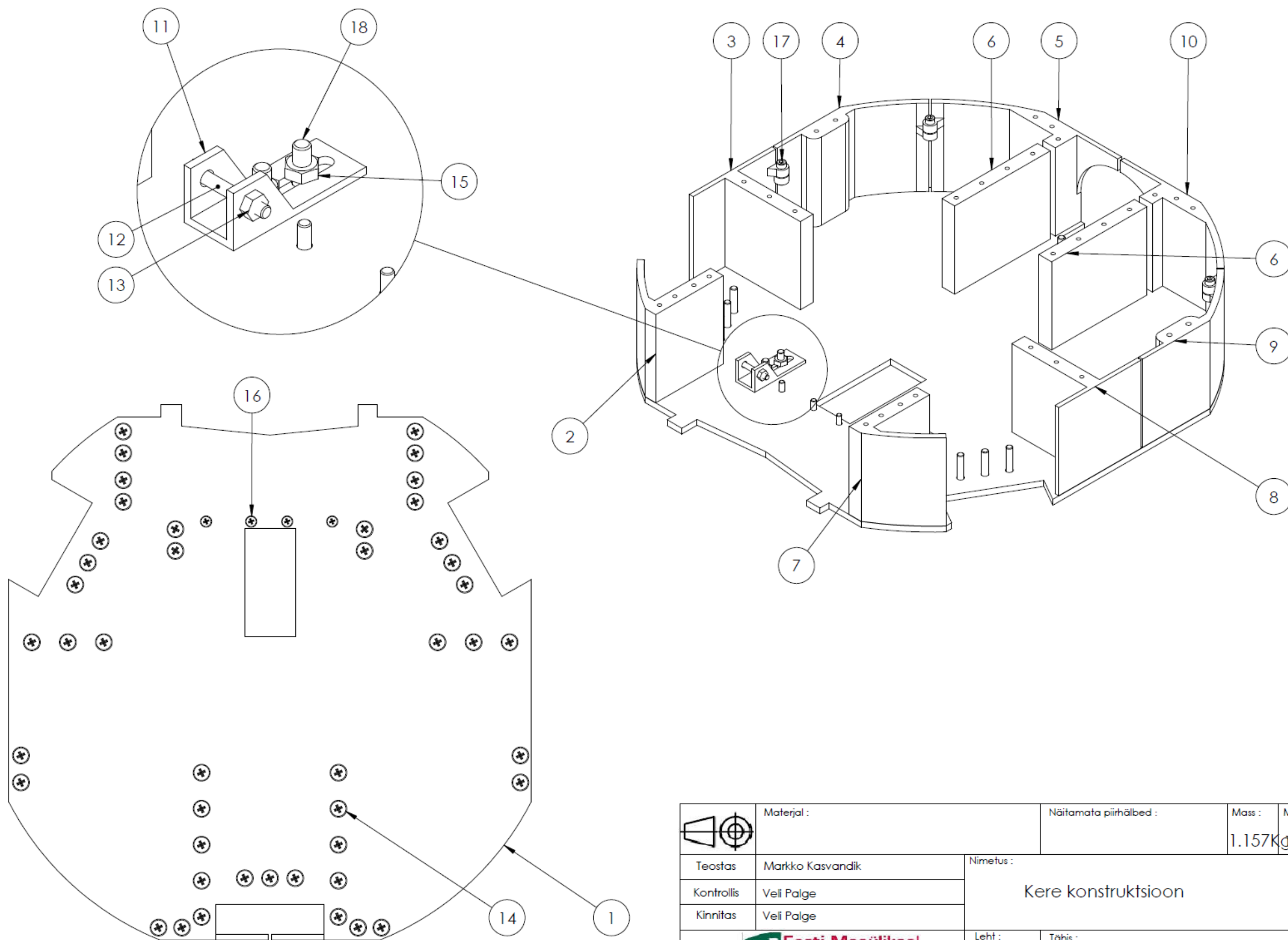


17	17	Kruvi M3x8mm	DIN7985	4	0.006Kg
16	16	Laager	625 SKF	2	0.04Kg
15	15	Peitepeage kruvi M2x5	DIN ISO7046	2	0.002Kg
14	14	DC Mootor	29:1 20Dx41L mm	1	0.042
13	13	Ülekande rihtm 6x120mm	T2.5	1	0.05Kg
12	12	Rihmaratas L6xR15.4mm 25T	T2.5	2	0.01Kg
11	11	Infrapuna LED	OP133	1	0.004Kg
10	10	Mutter M5	DIN6923	1	0.002Kg
9	9	Infrapuna sensor	TSOP4838	1	0.002Kg
8	8	Kruvi M2.5x6mm	DIN912	1	0.001Kg
7	7	Kinnitus klamber	TN 18/100375 D 01 07 D	1	0.002Kg
6	6	Silikoon kate	TN 18/100375 D 01 06 D	1	0.02Kg
5	5	Võll	TN 18/100375 D 01 05 D	1	0.23Kg
4	4	Laagri puks	TN 18/100375 D 01 04 D	1	0.002Kg
3	3	Paneel 2	TN 18/100375 D 01 03 D	1	0.02Kg
2	2	Paneel 1	TN 18/100375 D 01 02 D	1	0.025Kg
1	1	Tala	TN 18/100375 D 01 01 D	1	0.02Kg
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal :	Näitamata piirhälbed :	Mass :	Möödt :
				0.48Kg	1.25:1
Teostas	Markko Kasvandik		Palli haaramis mehhanism		
Kontrollis	Veli Palge				
Kinnitas	Veli Palge				
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž			Leht :	Tähis :	
			2 / 2	TN 18/100375 D 00 02 K	



	Materjal :	Näitamata piirhálbed :	Mass : 0.6Kg	Mõõt : 1 : 2
Teostas	Markko Kasvandik	Nimetus : Keskmine plaat arvutiga		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences EML Tartu Tehnikakolledž		Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 E 00 01K	

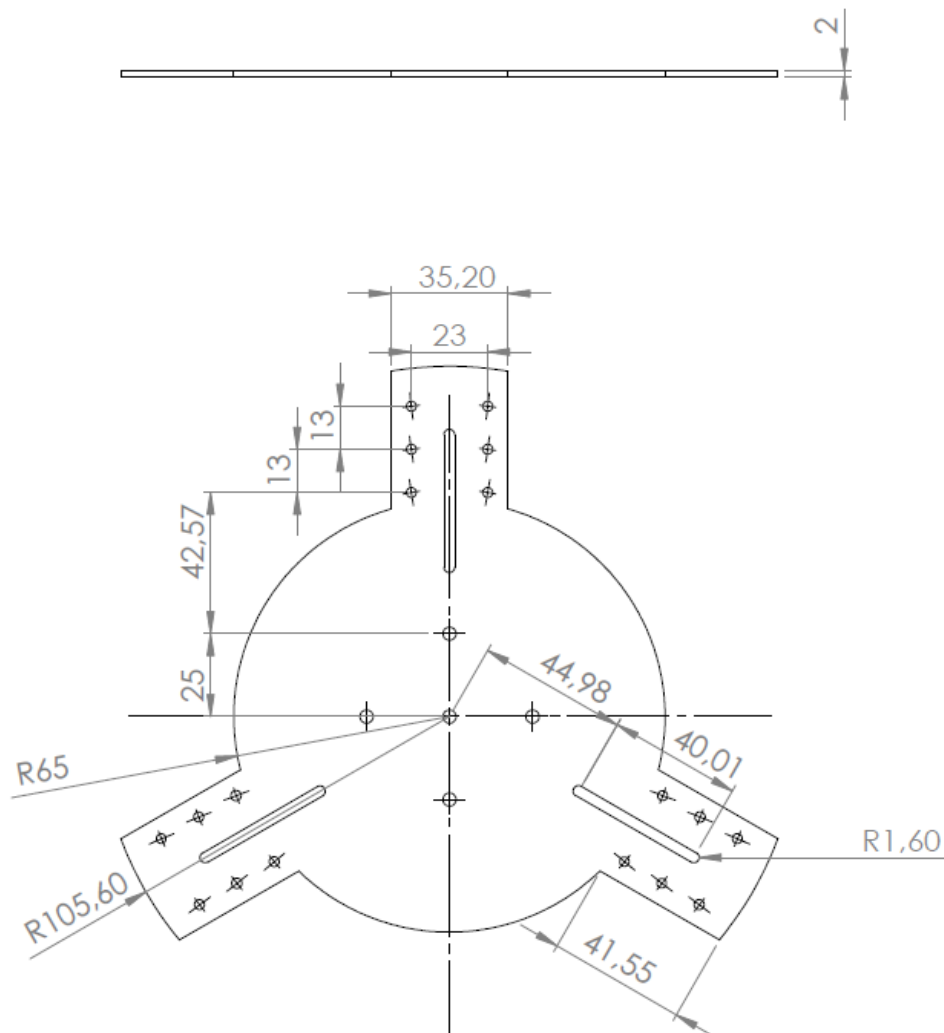
6	6	Jätku mutter M3x15mm		4	0.016Kg
5	5	Kruvi 3x8mm	DIN912	8	0.008Kg
4	4	Arvuti ASUS	Tinker board S	1	0.055Kg
3	3	Kruvi 3x8mm	DIN912	41	0.041Kg
2	2	Kruvi 3x12mm	DIN 912	6	0.006Kg
1	1	Keskmine plaat	TN 18/100375 E 01 01 D	1	0.48Kg
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal :	Näitamata piirhälbed :	Mass :	Mõõt :
				0.6Kg	1:2
Teostas	Markko Kasvandik		Nimetus : Keskmine plaat arvutiga		
Kontrollis	Veli Palge				
Kinnitas	Veli Palge				
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences EMU Tartu Tehnikakolledž			Leht :	Tähis :	
			2 / 2	TN 18/100375 E 00 02 K	



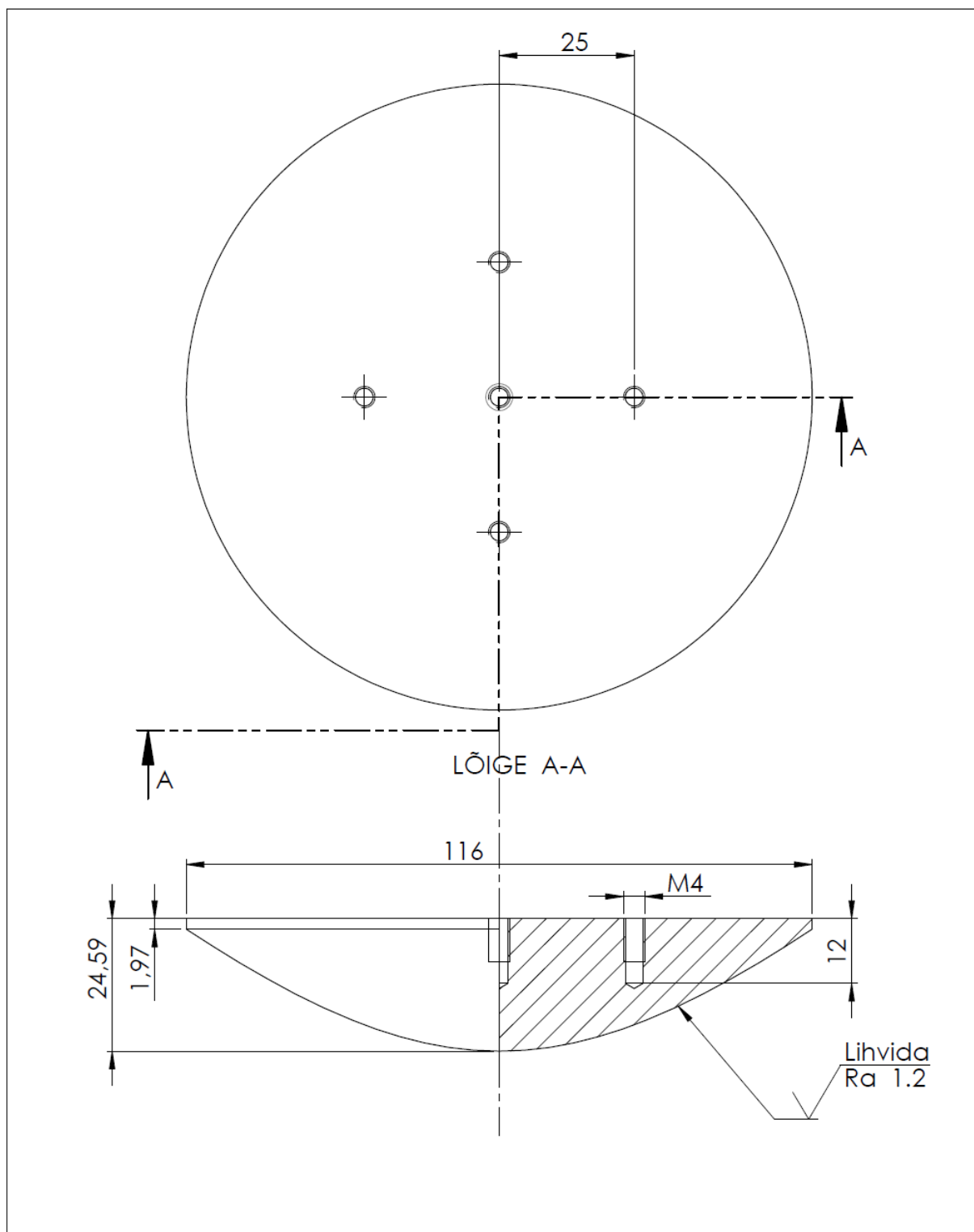
	Materjal :	Näitamata piirhälbed :	Mass :	Mõõt :
			1.157kg	3
Teostas	Markko Kasvandik	Kere konstruktsioon		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences EMU Tervise Tehnikakolledž		Leht :	Tähis :	
		1/2	TN 18/100375 F 00 01 K	


18	18	Peitepeaga kruvi M4x14mm	DIN 7046-1	4	0.004Kg
17	17	Kruvi M3x8mm	DIN912	4	0.004Kg
16	16	Peitepeaga kruvi M3x10mm	DIN ISO 7046-1	4	0.004Kg
15	15	Mutter M4	DIN 934	4	0.004Kg
14	14	Peitepeage kruvi M4x20 mm	DIN 7046-1	32	0.032
13	13	Mutter M3	DIN934	2	0.002Kg
12	12	Kruvi M3x20 mm	DIN912	2	0.002Kg
11	11	Ligend	TN 18/100375 F 01 11 D	2	0.01Kg
10	10	Tugisein 9	TN 18/100375 F 01 10 D	1	0.046Kg
9	9	Tugisein 8	TN 18/100375 F 01 09 D	1	0.038Kg
8	8	Tugisein 7	TN 18/100375 F 01 08 D	1	0.047Kg
7	7	Tugisein 6	TN 18/100375 F 01 07 D	1	0.043Kg
6	6	Tugisein 5	TN 18/100375 F 01 06 D	2	0.045Kg
5	5	Tugisein 4	TN 18/100375 F 01 05 D	1	0.046Kg
4	4	Tugisein 3	TN 18/100375 F 01 04 D	1	0.04Kg
3	3	Tugisein 2	TN 18/100375 F 01 03 D	1	0.047Kg
2	2	Tugisein 1	TN 18/100375 F 01 02 D	1	0.043Kg
1	1	Põhja plaat	TN 18/100375 F 01 01 D	1	0.7Kg
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal :	Näitamata piirhälbed :	Mass :	Mõõt :
				1.157Kg	
Teostas	Markko Kasvandik		Kere konstruktsioon		
Kontrollis	Veli Palge				
Kinnitas	Veli Palge				
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences EMLU Tartu Tehnikakolledž			Leht :	Tähis :	
			2 / 2	TN 18/100375 F 00 02 K	

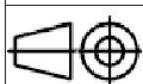
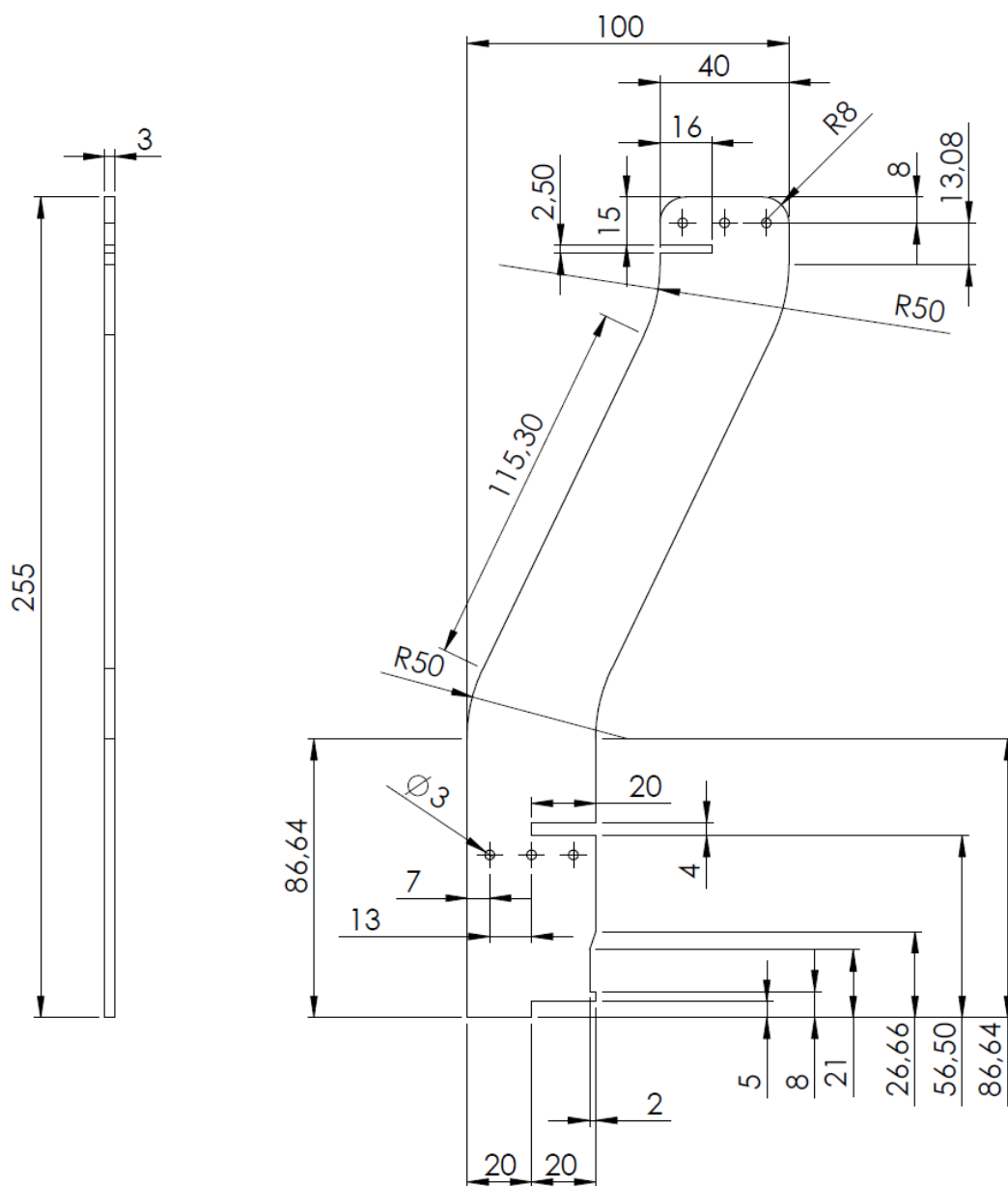
Lisa B tehnilised joonised



	Materjal : Teras AISI 304	Näitamata piirhälbed :	Mass : 0.27 kg	Mõõt : 1 : 2
Teostas	Markko Kasvandik	Nimetus : Optikakonstruktsioon plaat 1		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
		Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 A 01 01 D	



	Materjal : Alumiinium 6061	Näitamata piirhálbed :	Mass : 0.36Kg	Mõõt : 1 : 1
Teostas	Markko Kasvandik	Nimetus : Hüperbool peegel		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
		Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 A 02 01D	



Materjal :
Teras AISI304

Näitamata piirhõlbed :

Mass :

Mõõt :

0.24Kg

1 : 2

Teostas Markko Kasvandik

Kontrollis Veli Palge

Kinnitas Veli Palge

Nimetus :

Optika konstruktsiooni tala

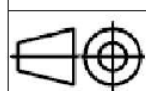
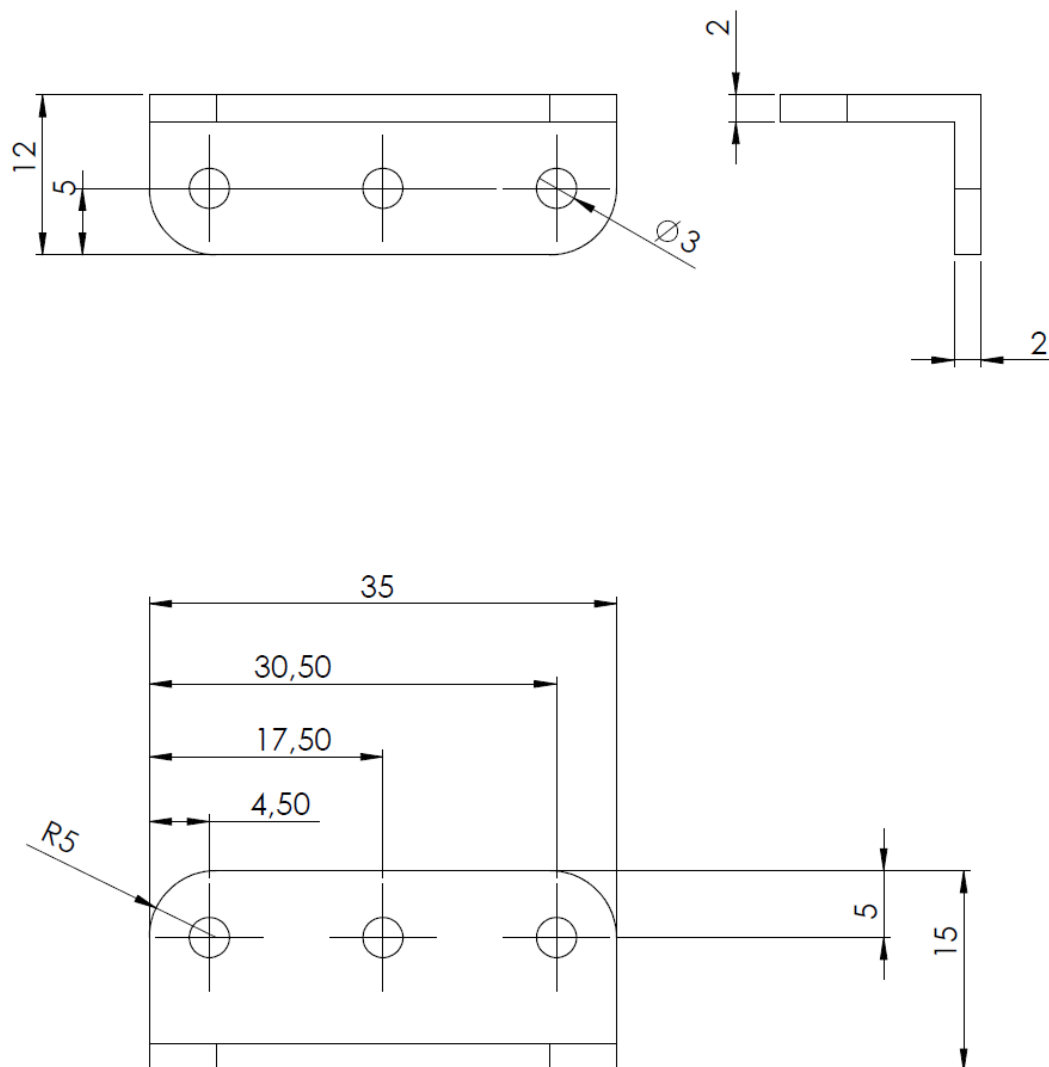


Leht :

1

Tähis :

TN 18/100375 A 03 01 D



Materjal :
Alumiinium 6061

Näitamata piirhalded :

Mass : Mõõt :

0.005Kg 1 : 1

Teostas Markko Kasvandik

Kontrollis Veli Palge

Kinnitas Veli Palge

Nimetus :

Kolmnurk liide 1

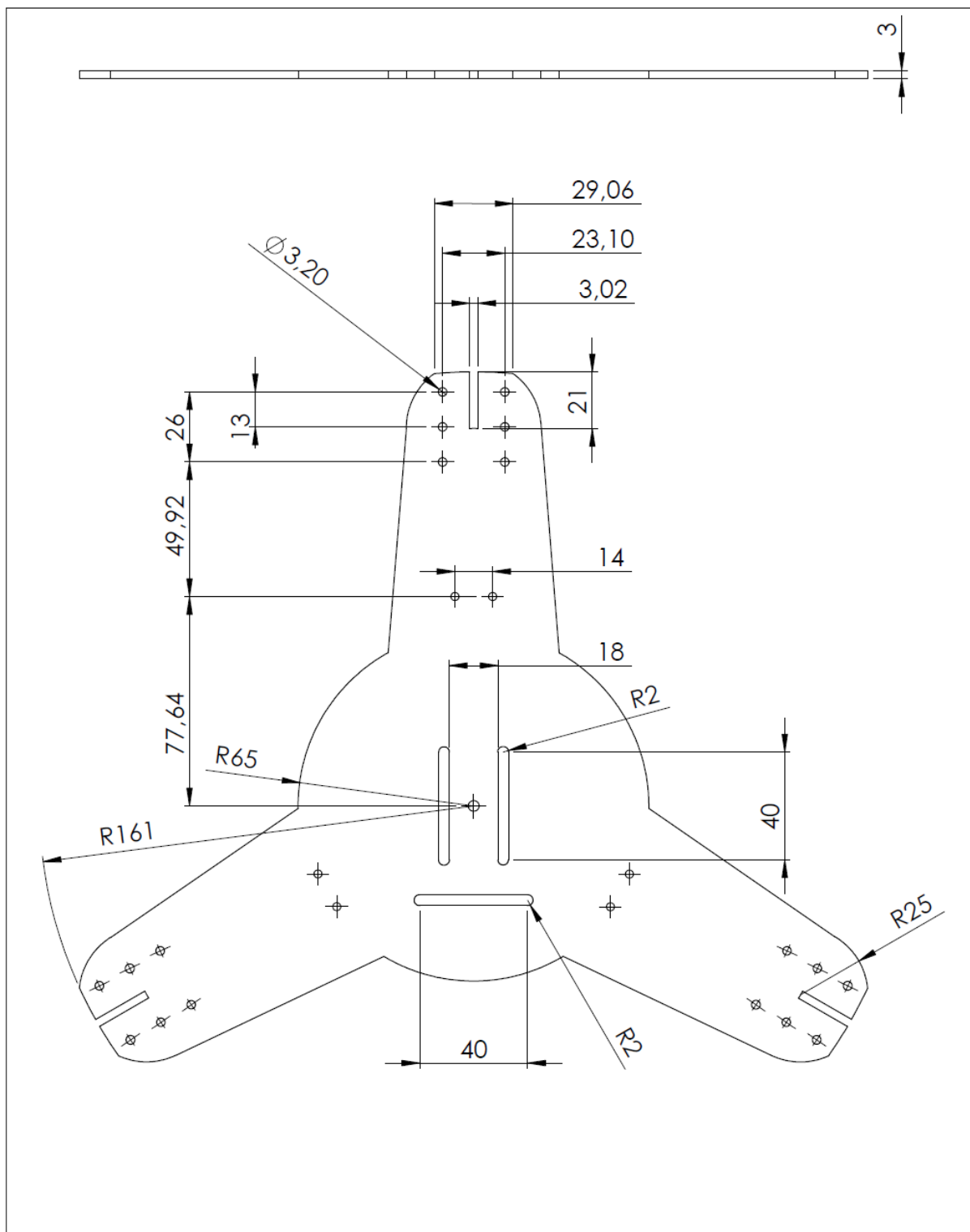


Leht :

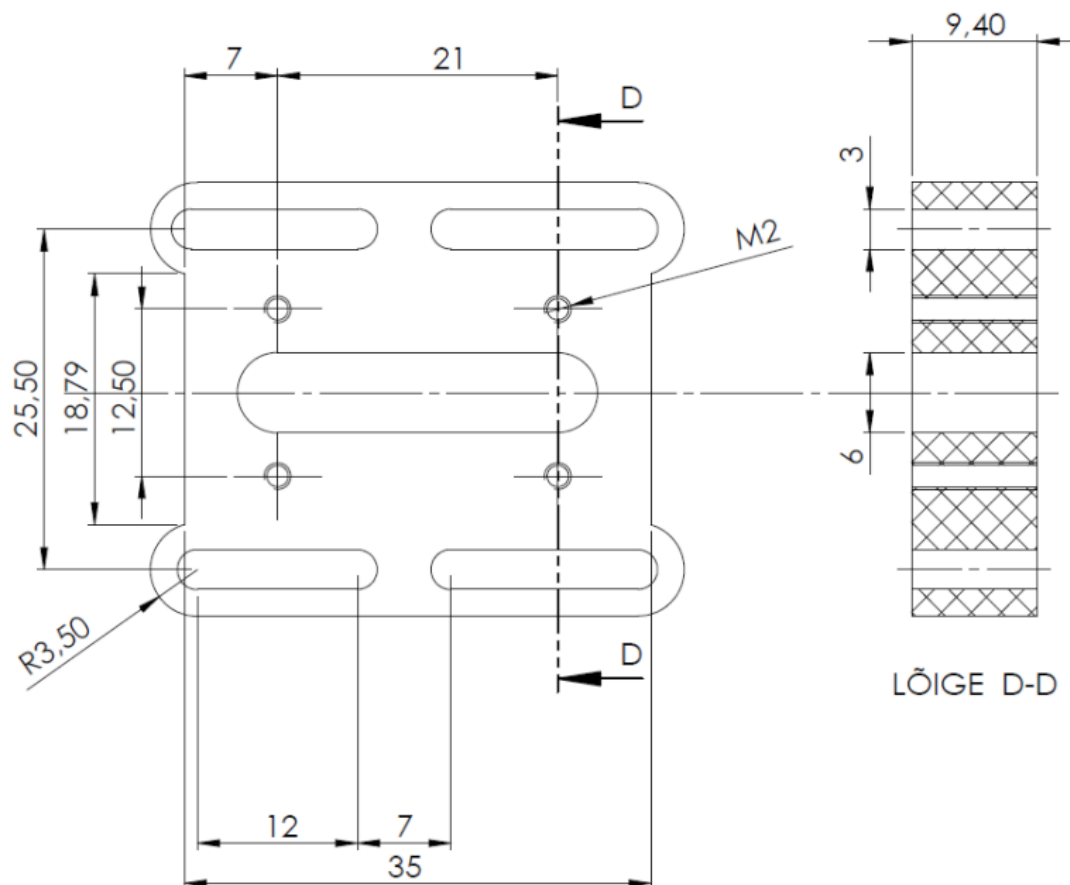
1

Tähis :

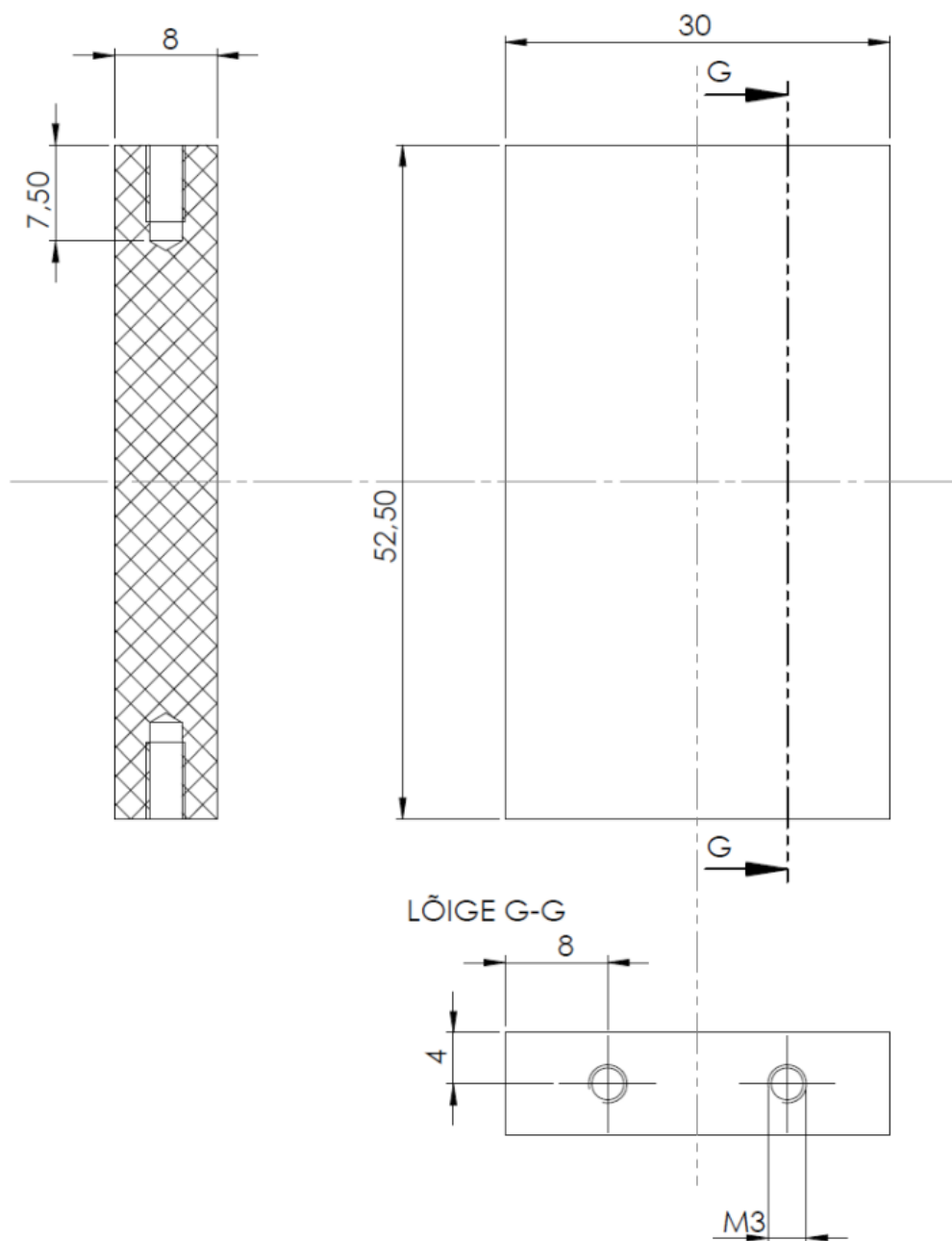
TN 18/100375 A 04 01D



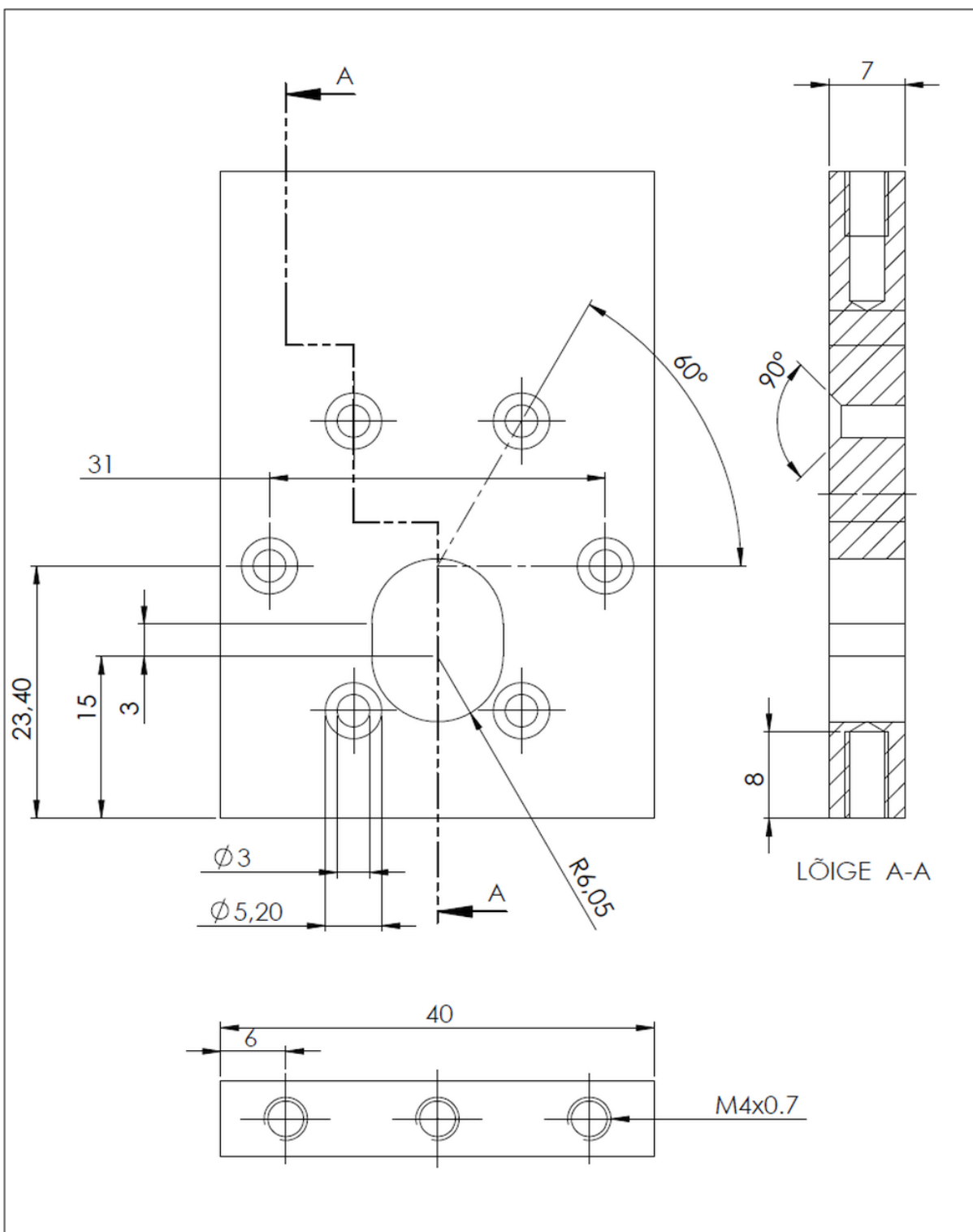
	Materjal : Alumiinium 6061	Näitamata piirhälbed :	Mass : 0.23Kg	Mõõt : 1 : 2
Teostas	Markko Kasvandik	Nimetus : Vahelagi 1		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
		Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 A 05 01D	



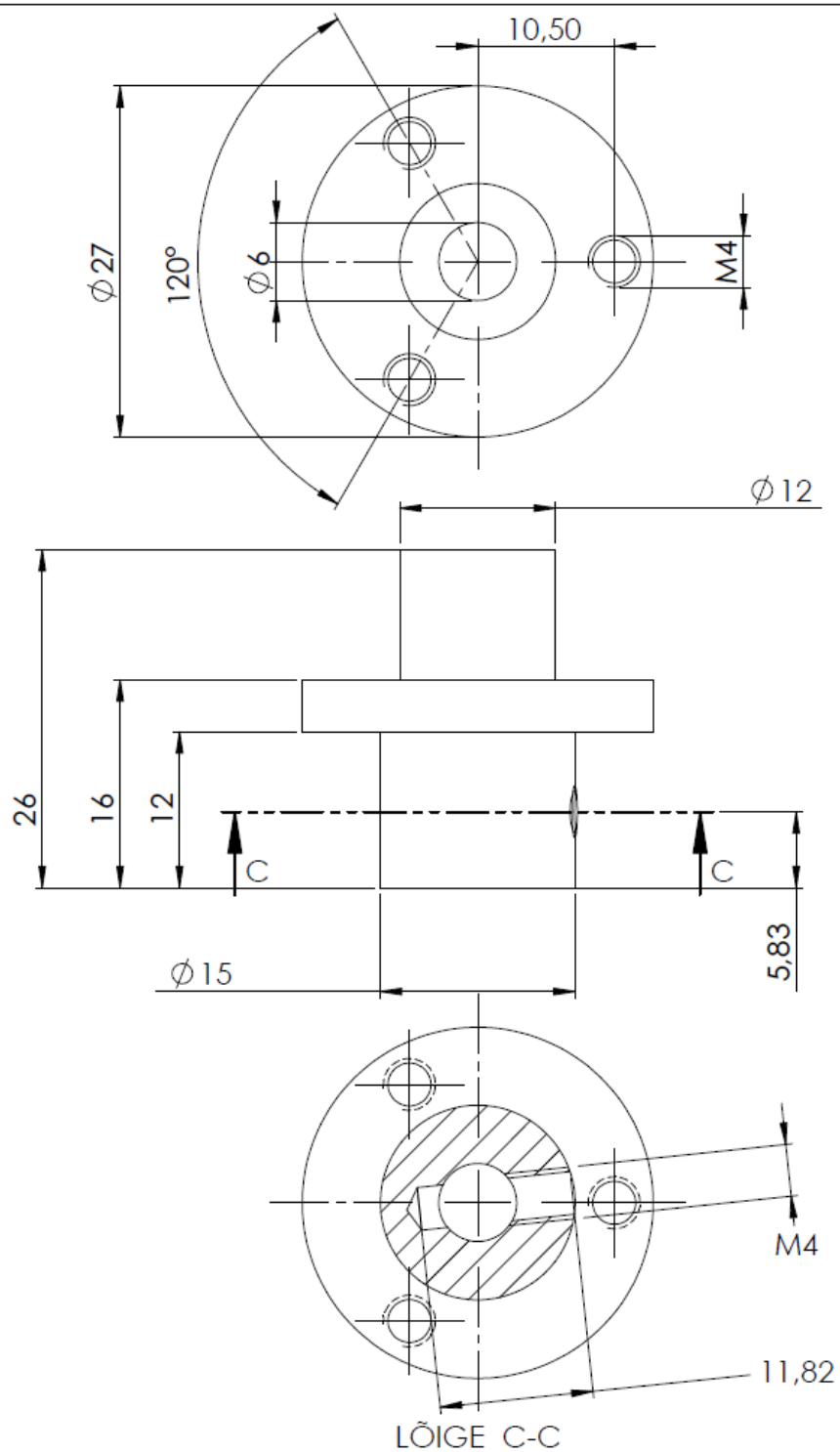
	Materjal : Plastik PLA 175N07	Näitamata piirhõlbed :	Mass : 0.009Kg	Mõõt : 2 : 1
Teostas	Markko Kasvandik	Nimetus : Kaamera kinnitus konstruktsioon		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences EMÜ Tartu Tehnikakolledž		Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 A 06 01D	



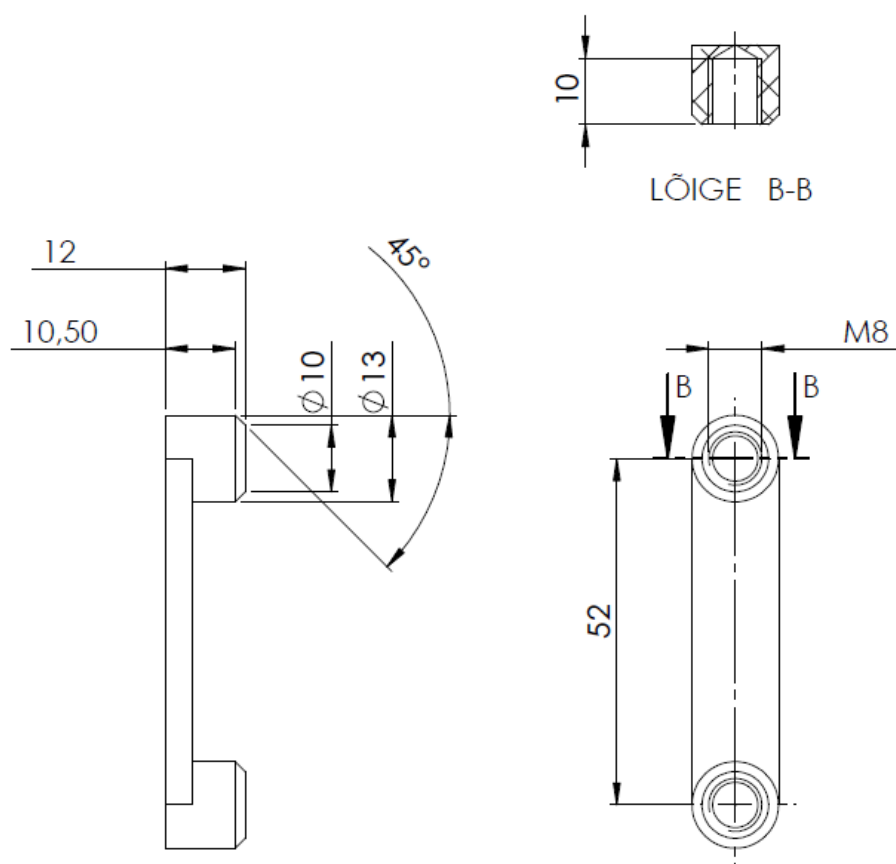
	Materjal : Plastik PLA 175N07	Näitamata piirhálbed :	Mass : 0.013Kg	Mõõt : 2 : 1
Teostas	Markko Kasvandik	Nimetus : Tugitala 1		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
		Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 A 07 01 D	



	Material : Alumiinium 6061	Näitamata piirhálbed :	Mass : 0.04 kg	Mõõt : 2 : 1
Teostas	Markko Kasvandik	Ratta kinnitus konstruktsioon		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
		Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 B 01 01 D	



	Materjal : Alumiinium 6061	Näitamata piirhálbed :	Mass : 0.015kg	Mõõt : 2 : 1
Teostas	Markko Kasvandik	Nimetus : Ratta adapter		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences EMLU Tartu Tehnikakolledž		Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 B 02 01D	



Materjal :
Alumiinium 6061

Näitamata piirhálbed :

Mass :
0.02Kg

Mõõt :
1 : 1

Teostas Markko Kasvandik

Kontrollis Veli Palge

Kinnitas Veli Palge

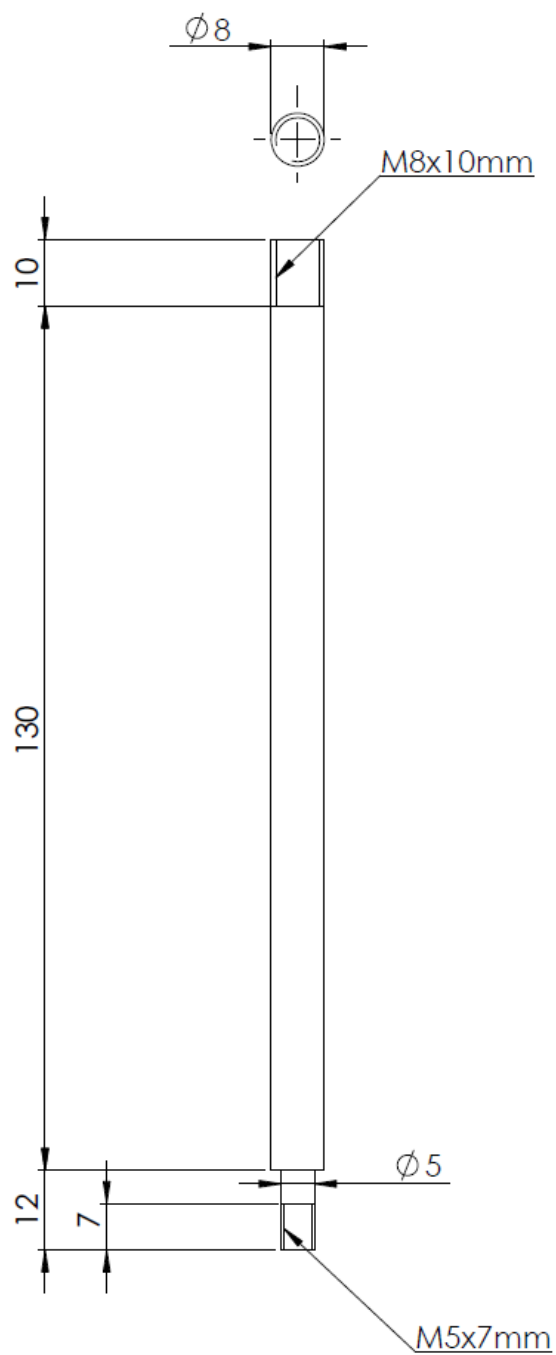
Nimetus :


Konstruksiooni osa 1

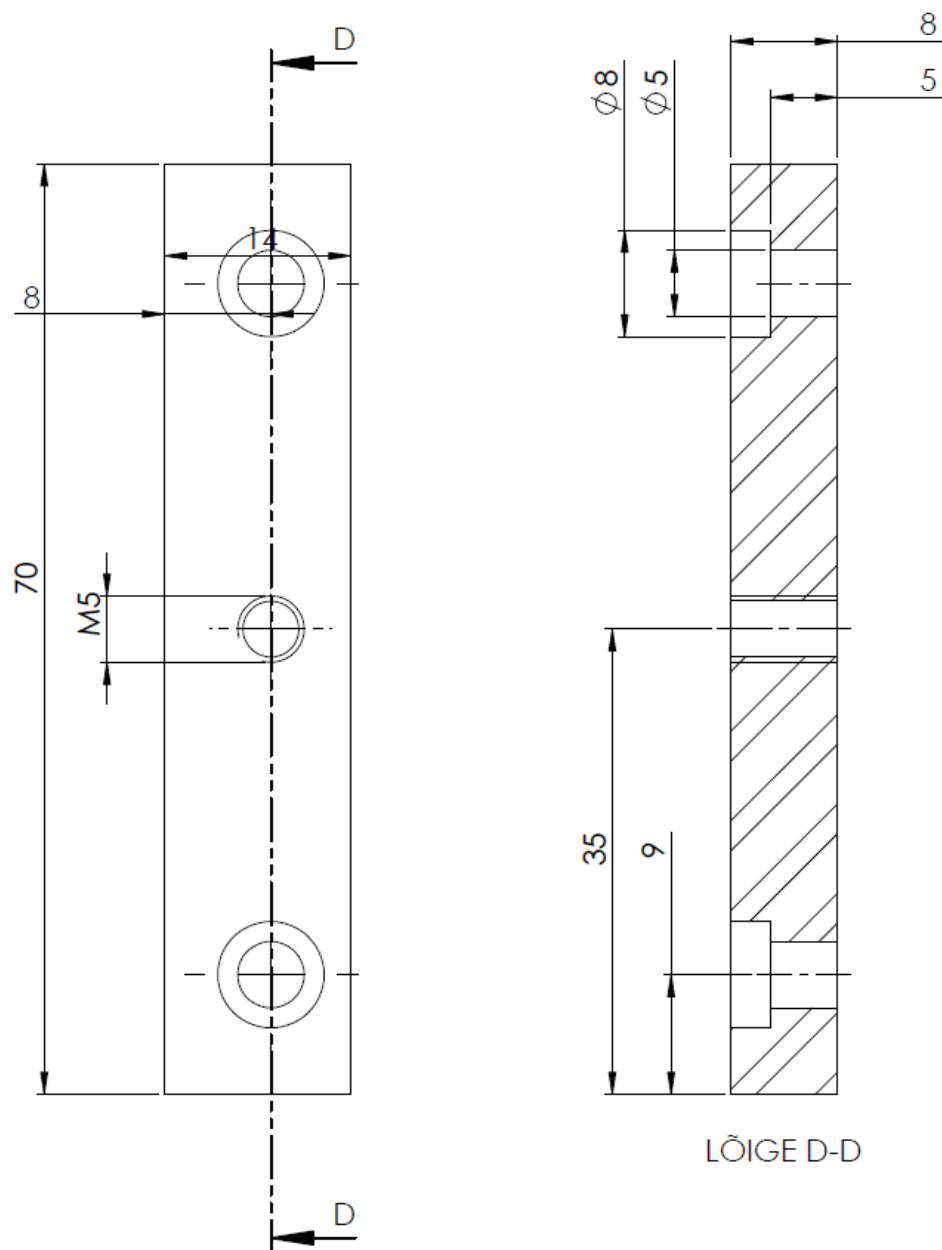


Leht :
1

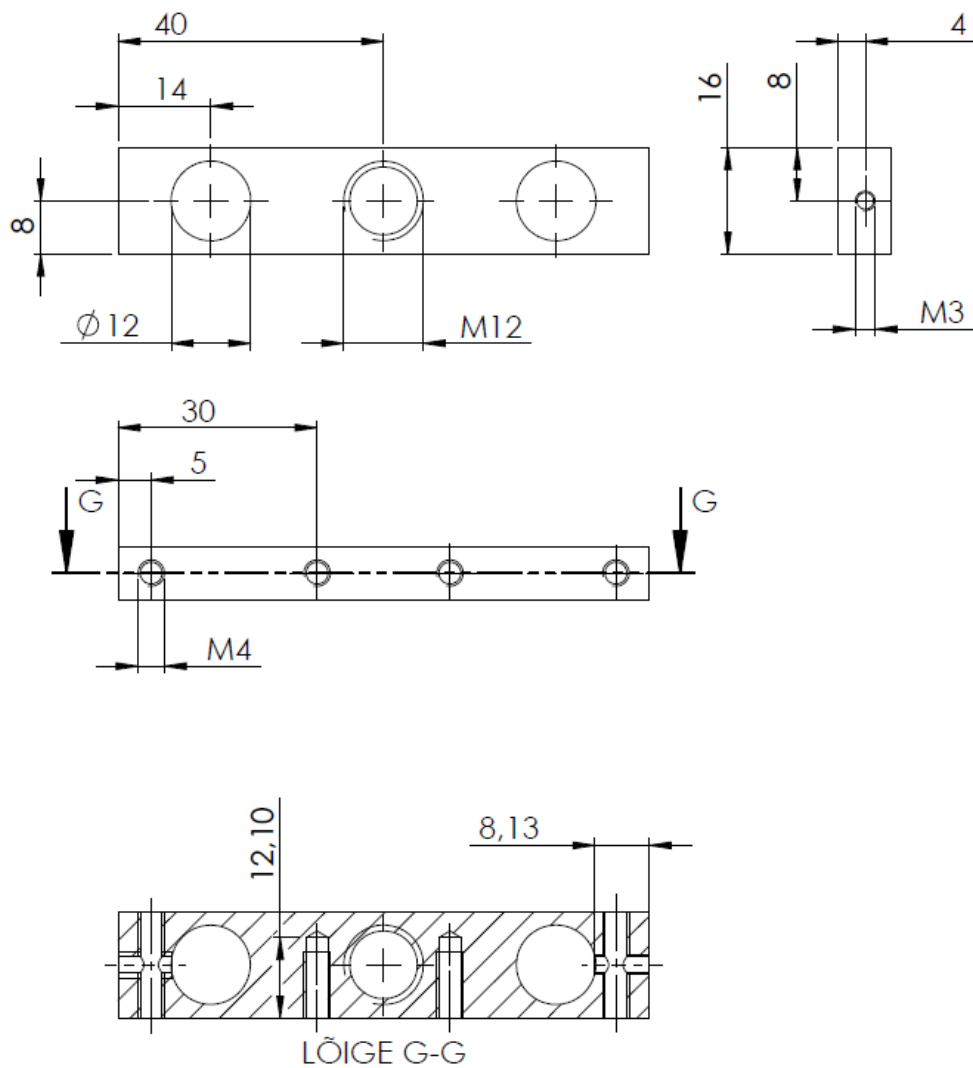
Tähis :
TN 18/100375 C 01 01D



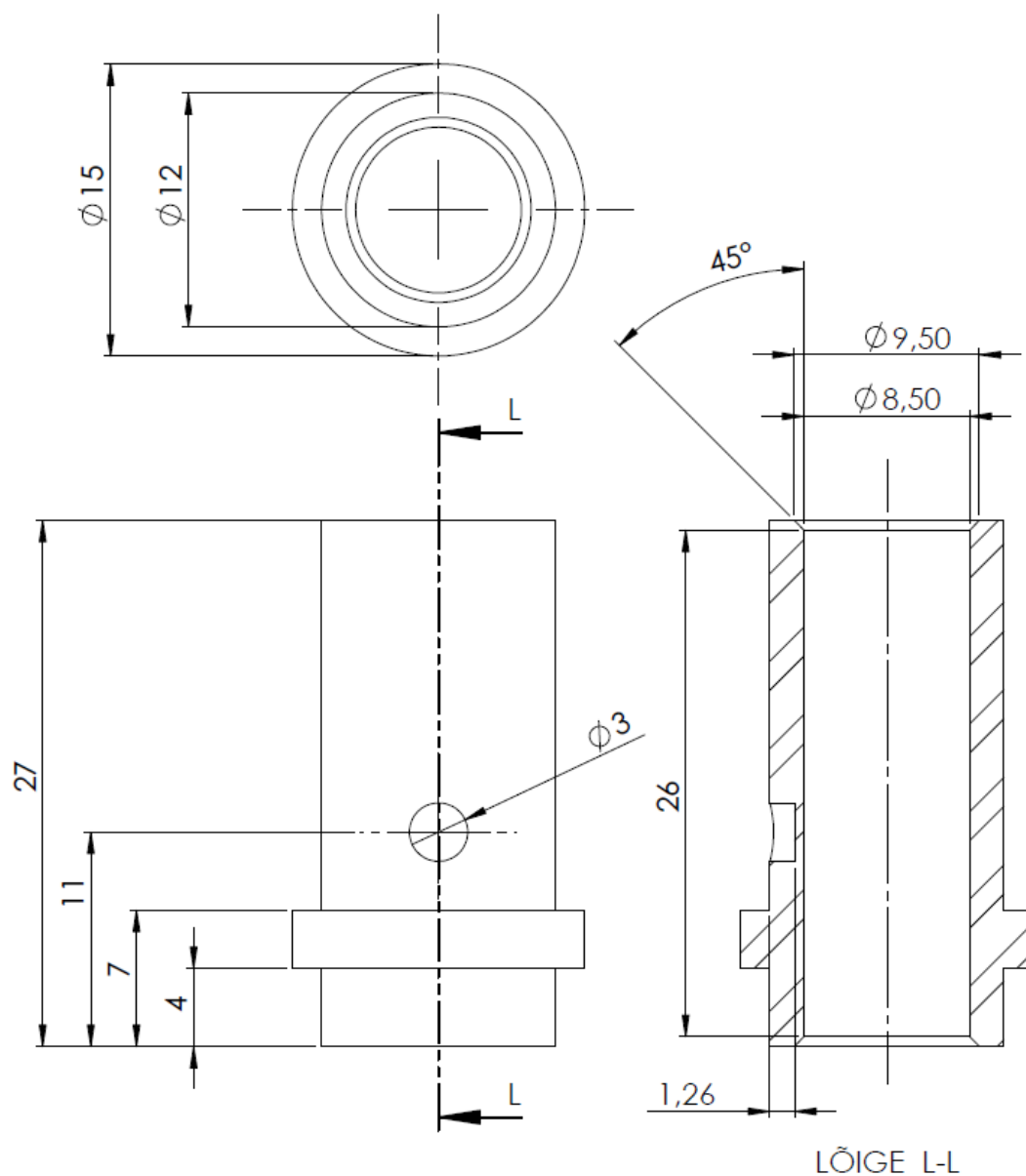
	Materjal : Alumiinium 6061	Näitamata piirhõlbed :	Mass : 0.03Kg	Mõõt : 1 : 1
Teostas	Markko Kasvandik	Nimetus : Varras		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
		Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 C 02 01D	



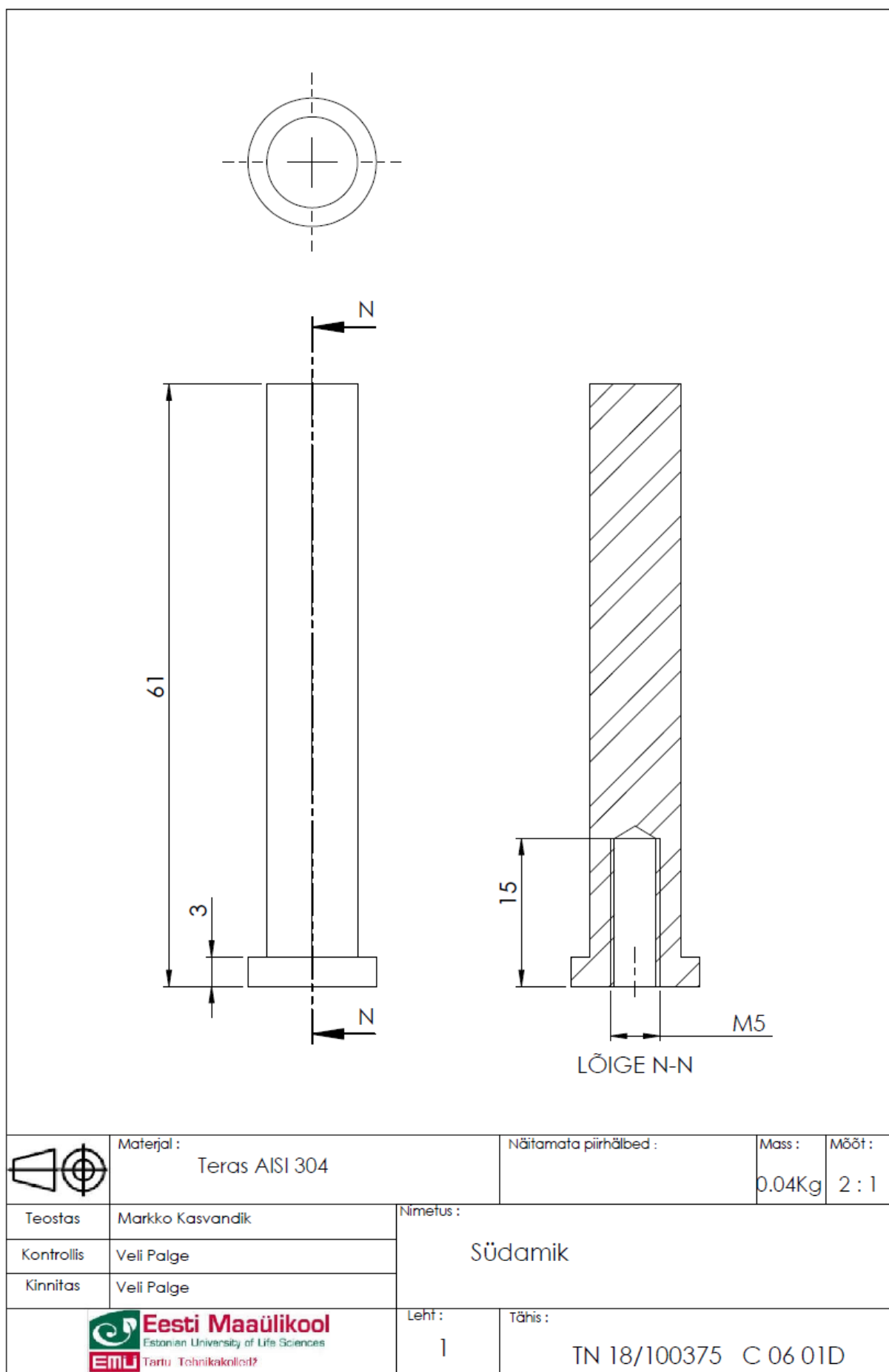
	Materjal : Plastik PLA 175N07	Näitamata piirhálbed :	Mass : 0.02Kg	Mõõt : 2 : 1
Teostas	Markko Kasvandik	Konstruktsiooni osa 2		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž		Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 C 03 01D	

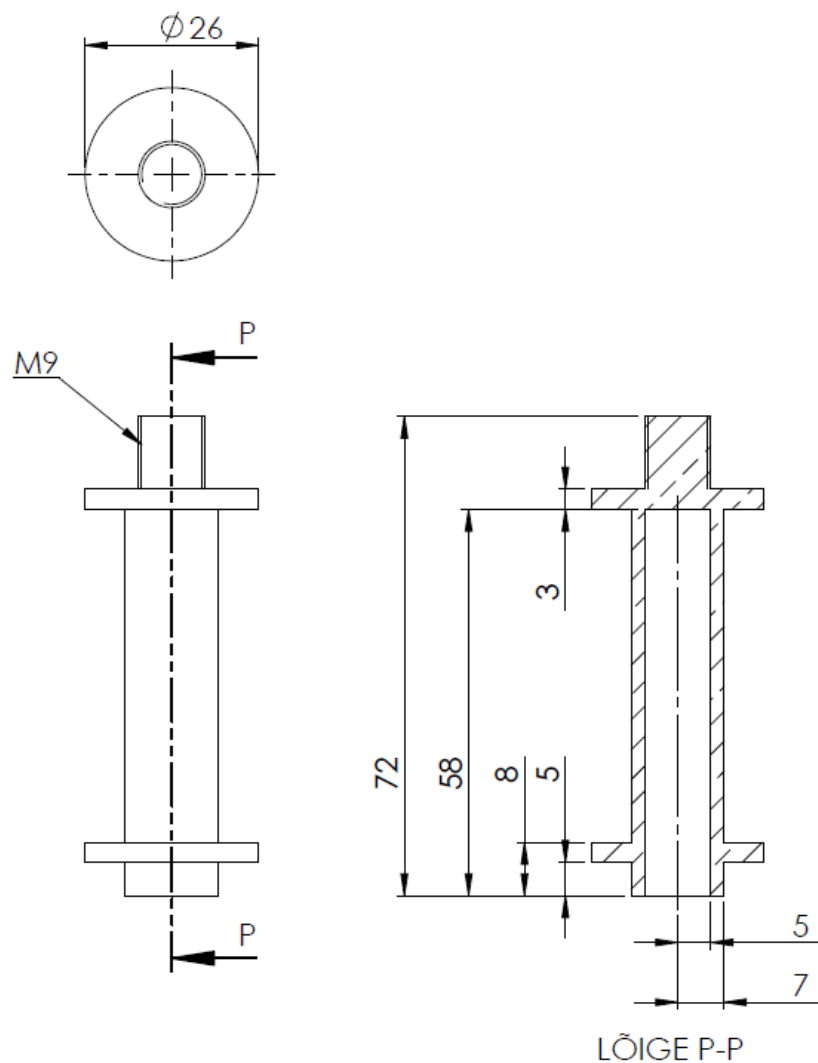


	Materjal : Alumiinium 6061	Näitamata piirhálbed :	Mass : 0.04Kg	Mõõt : 1 : 1
Teostas	Markko Kasvandik	Konstruktsiooni osa 3		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž		Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 C 04 01D	

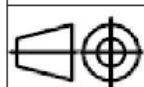
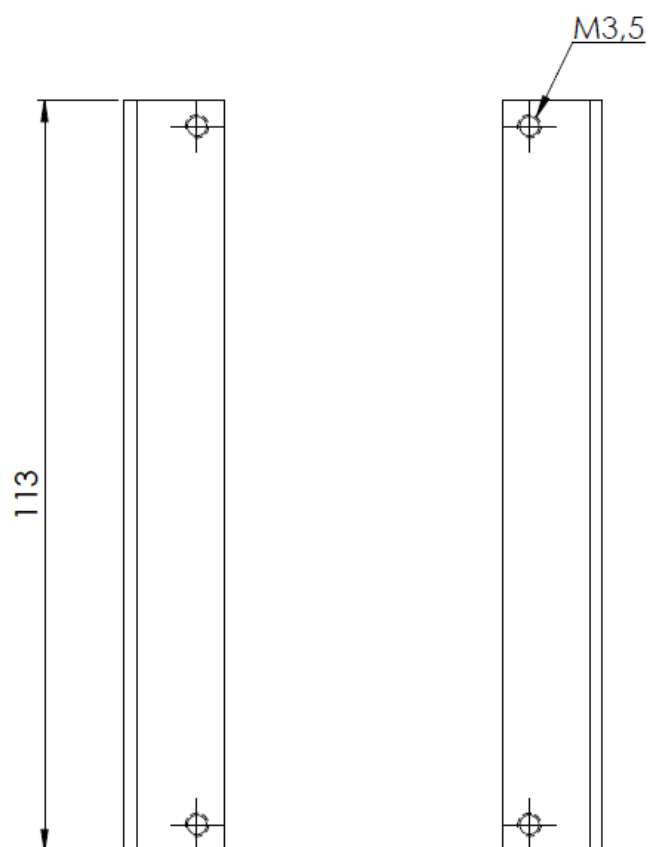
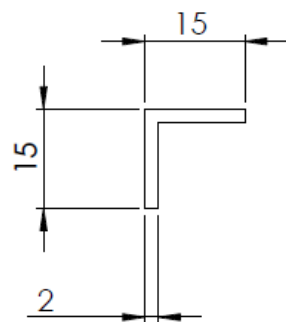


	Materjal : Plastik PLA 175N07	Näitamata piirhõlbed :	Mass : 0.02Kg	Mõõt : 3 : 1
Teostas	Markko Kasvandik	Konstruktsiooni osa 4		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences EMU Tartu Tehnikakolledž		Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 C 05 01D	





	Materjal : Alumiinium 6061	Näitamata piirhõlbed :	Mass : 0.035Kg	Mõõt : 2 : 1
Teostas	Markko Kasvandik	Nimetus : Mähise konstruktsioon		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž		Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 C 07 01D	



Materjal :

Alumiinium 6061

Näitamata piirhálbed :

Mass :

0.02Kg

Mõõt :

1 : 1

Teostas

Markko Kasvandik

Kontrollis

Veli Palge

Kinnitas

Veli Palge

Nimetus :

Tala



Eesti Maaülikool

Estonian University of Life Sciences

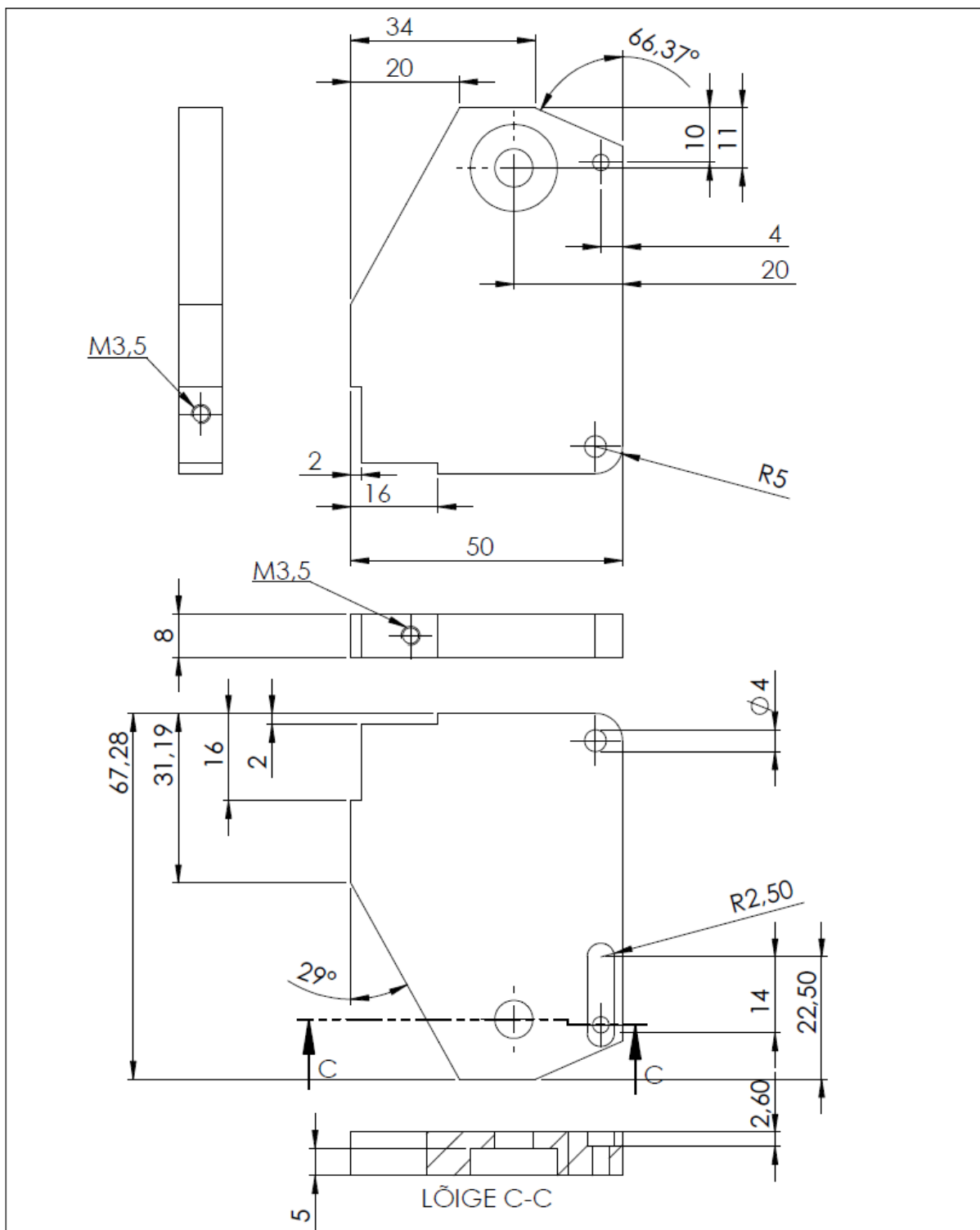
Tartu Tehnikakolledž

Leht :

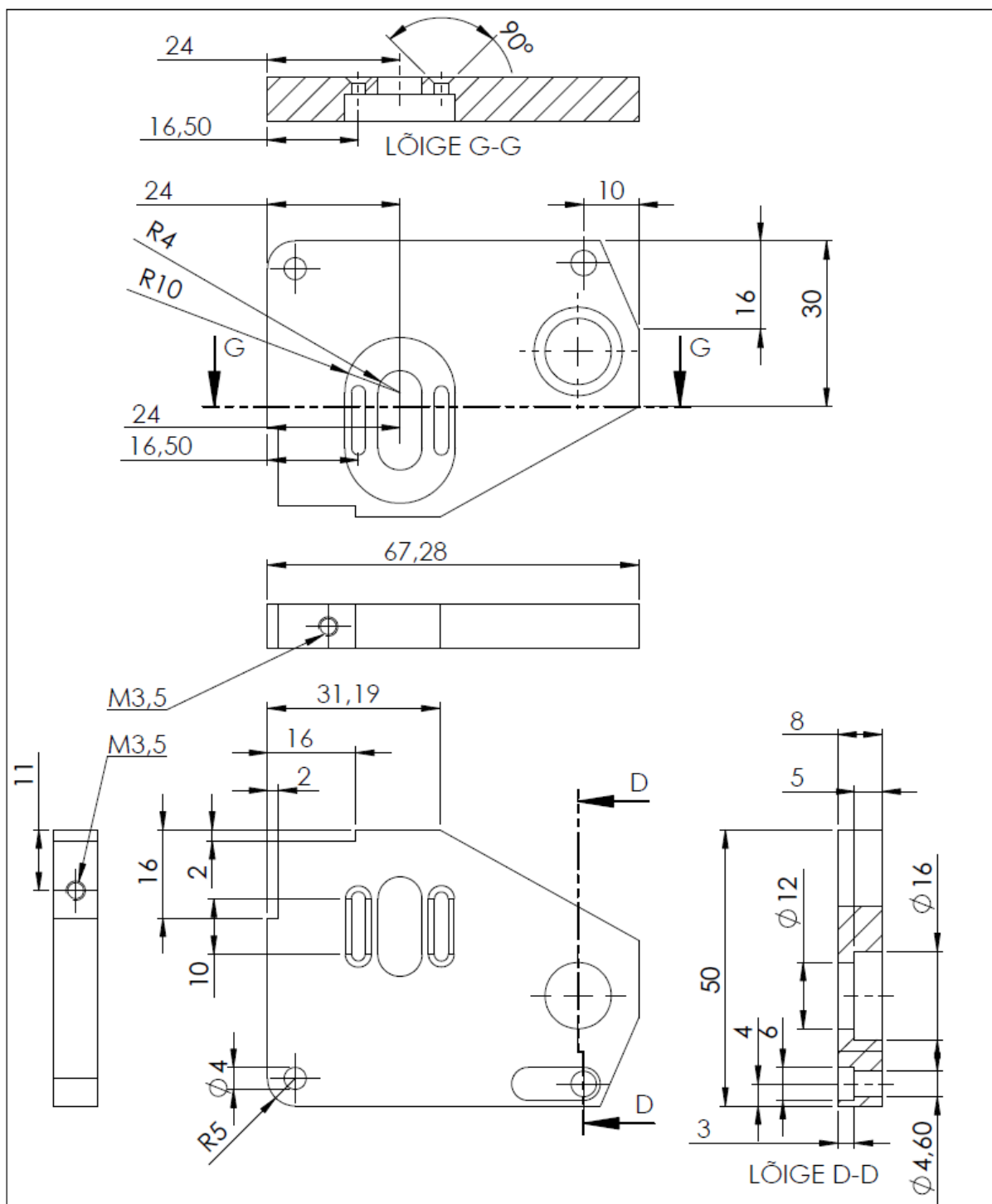
1

Tähis :

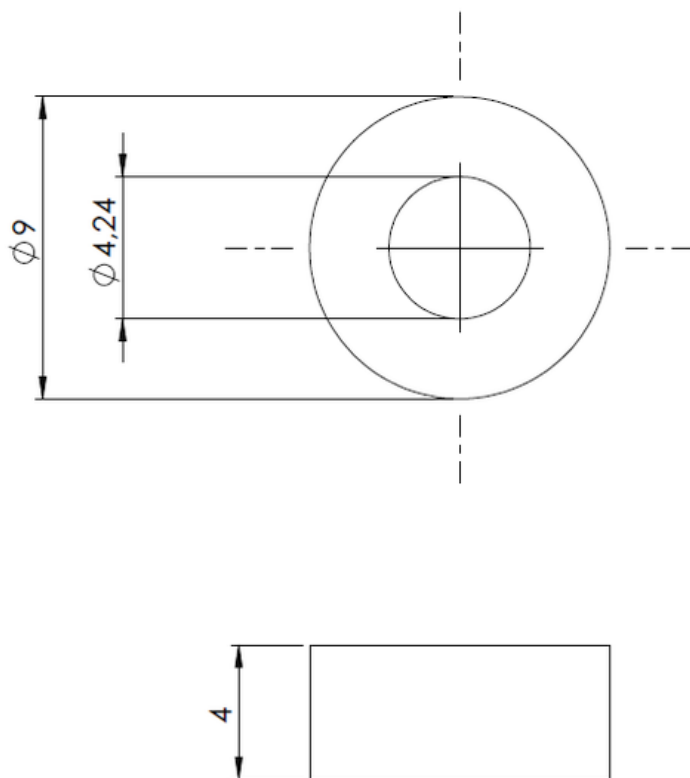
TN 18/100375 D 01 01D



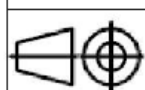
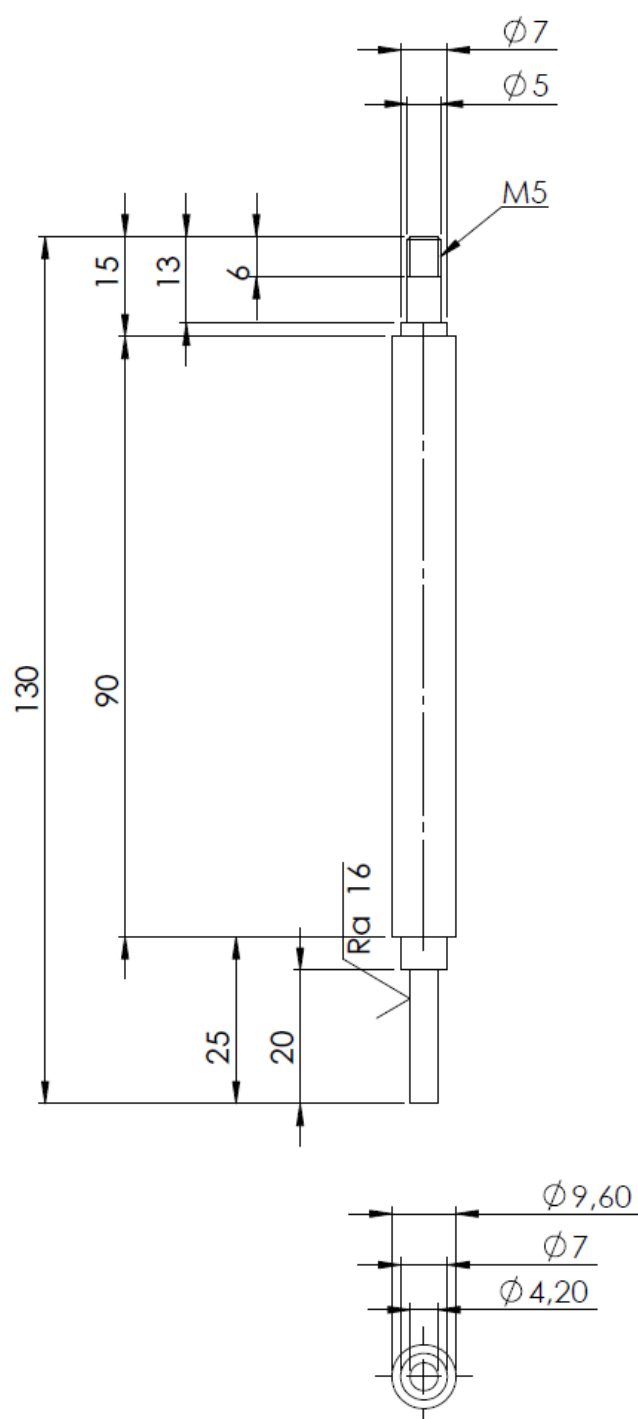
	Materjal : Plastik PLA 175N07	Näitamata piirhálbed :	Mass : 0.022Kg	Mõõt : 1 : 1
Teostas	Markko Kasvandik	Nimetus : Küljepaneel 1		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž		Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 D 02 01D	



	Materjal : Plastik PLA 175N07	Näitamata piirhálbed :	Mass : 0.02Kg	Mõõt : 1 : 1
Teostas	Markko Kasvandik	Nimetus : Küljepaneel 2		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
		Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 D 03 01D	



	Materjal : Plastik PLA 175N07	Näitamata piirhõlbed :	Mass : 0.002Kg	Mõõt : 5 : 1
Teostas	Markko Kasvandik	Nimetus : Laagri puks		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
		Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 D 04 01D	



Materjal :
Teras AISI 304

Näitamata piirhõlbed :

Mass :

0.06Kg

Mõõt :

1 : 1

Teostas Markko Kasvandik

Kontrollis Veli Palge

Kinnitas Veli Palge

Nimetus :

Võll

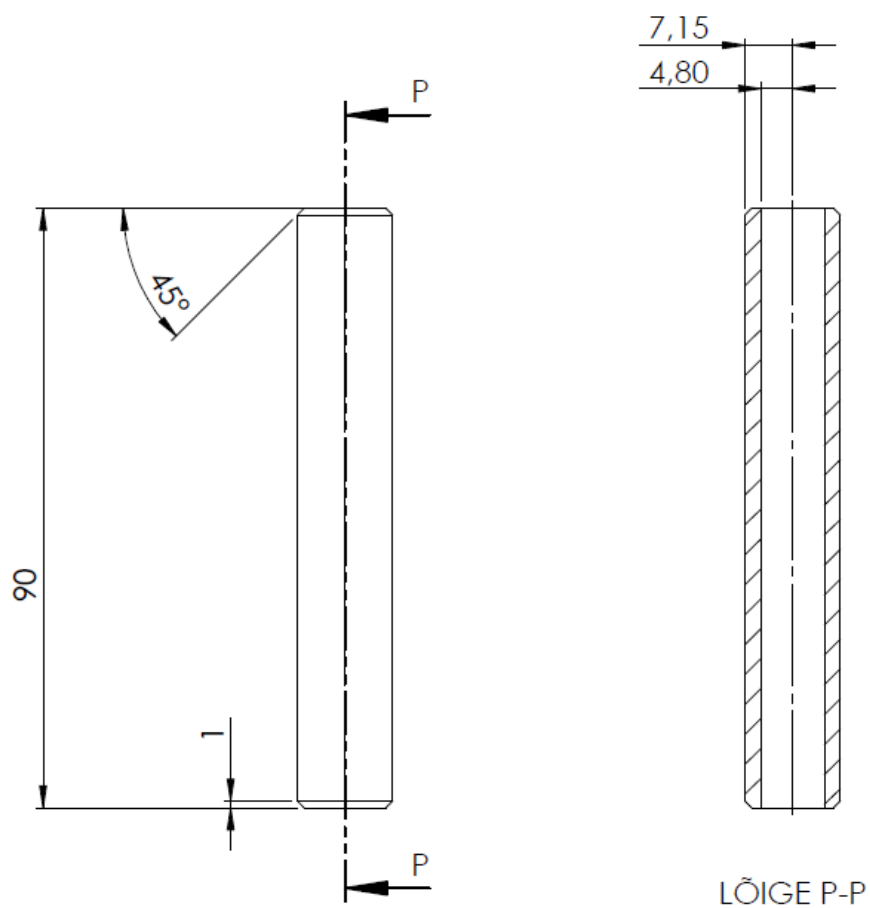


Leht :

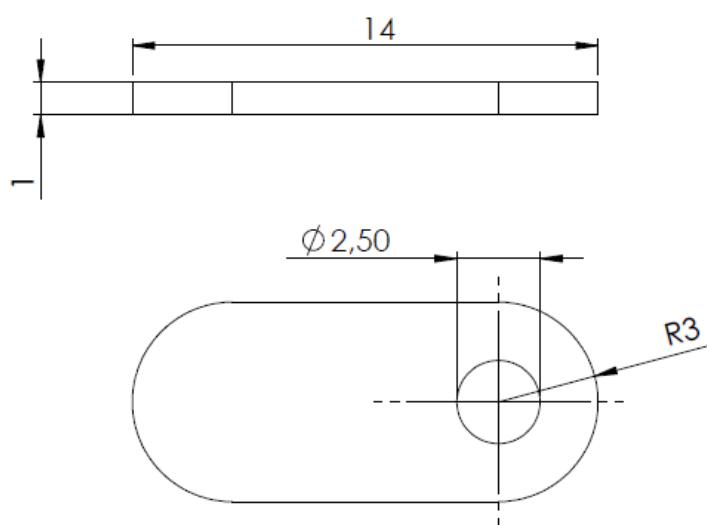
1


Tähis :

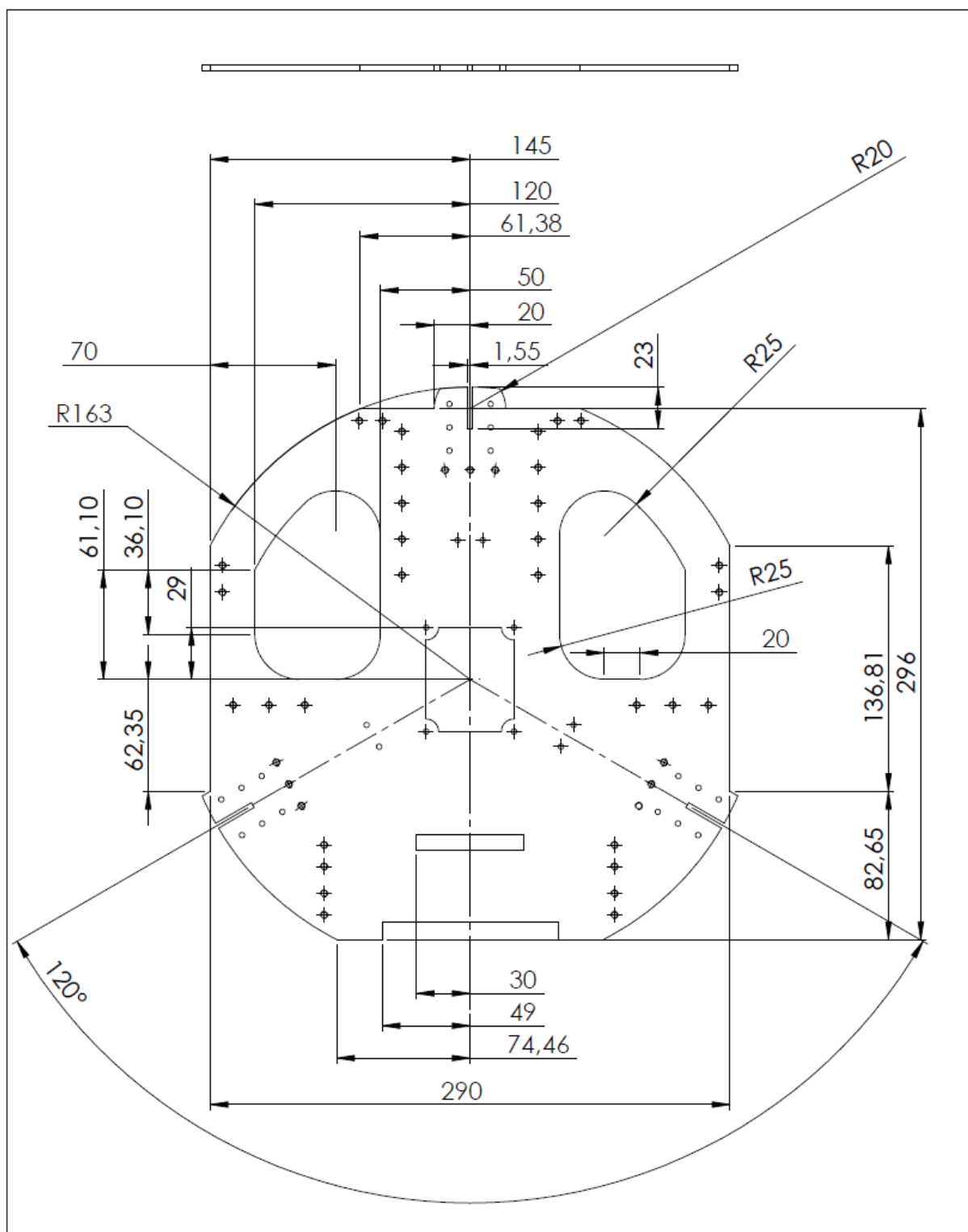
TN 18/100375 D 05 01D



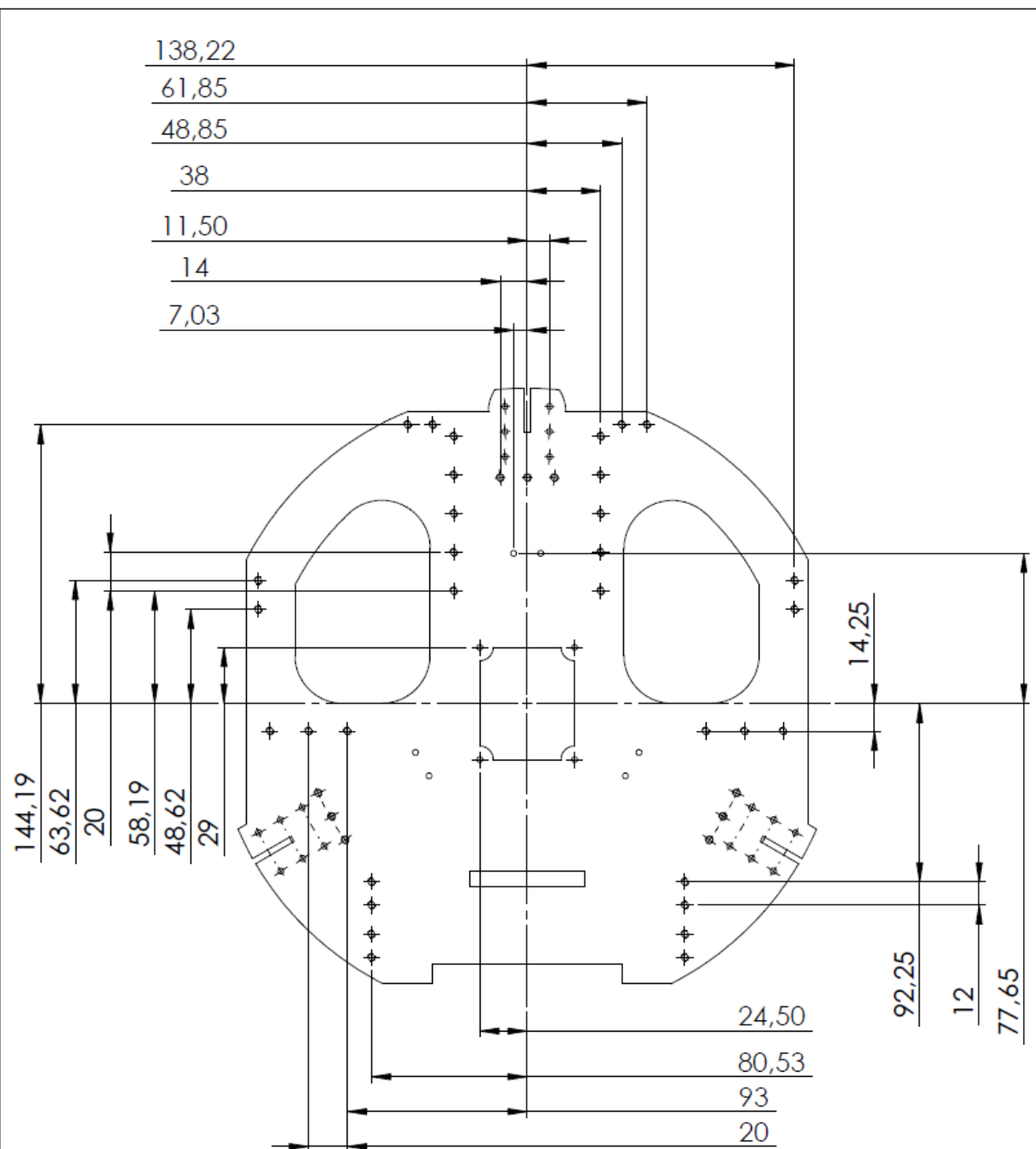
	Materjal : Silikoon	Näitamata piirhálbed :	Mass : 0.02Kg	Mõõt : 1 : 1
Teostas	Markko Kasvandik	Nimetus : Võlli kate		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
		Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 D 06 01D	



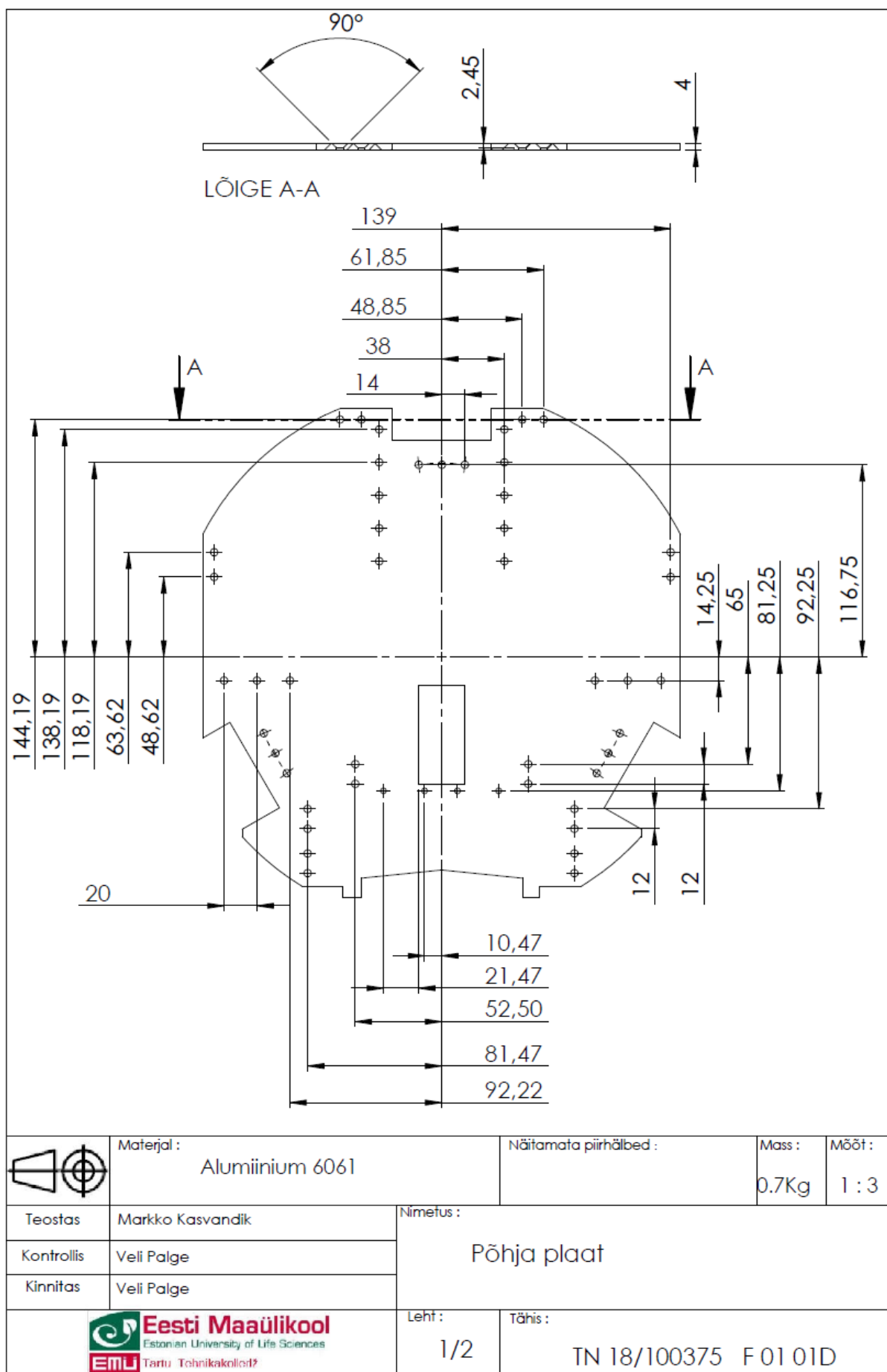
	Materjal : Alumiinium 6061	Näitamata piirhälbed :	Mass : 0.002Kg	Mõõt : 5 : 1
Teostas	Markko Kasvandik	Nimetus : Kinnitus klamber		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž		Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 D 07 01D	

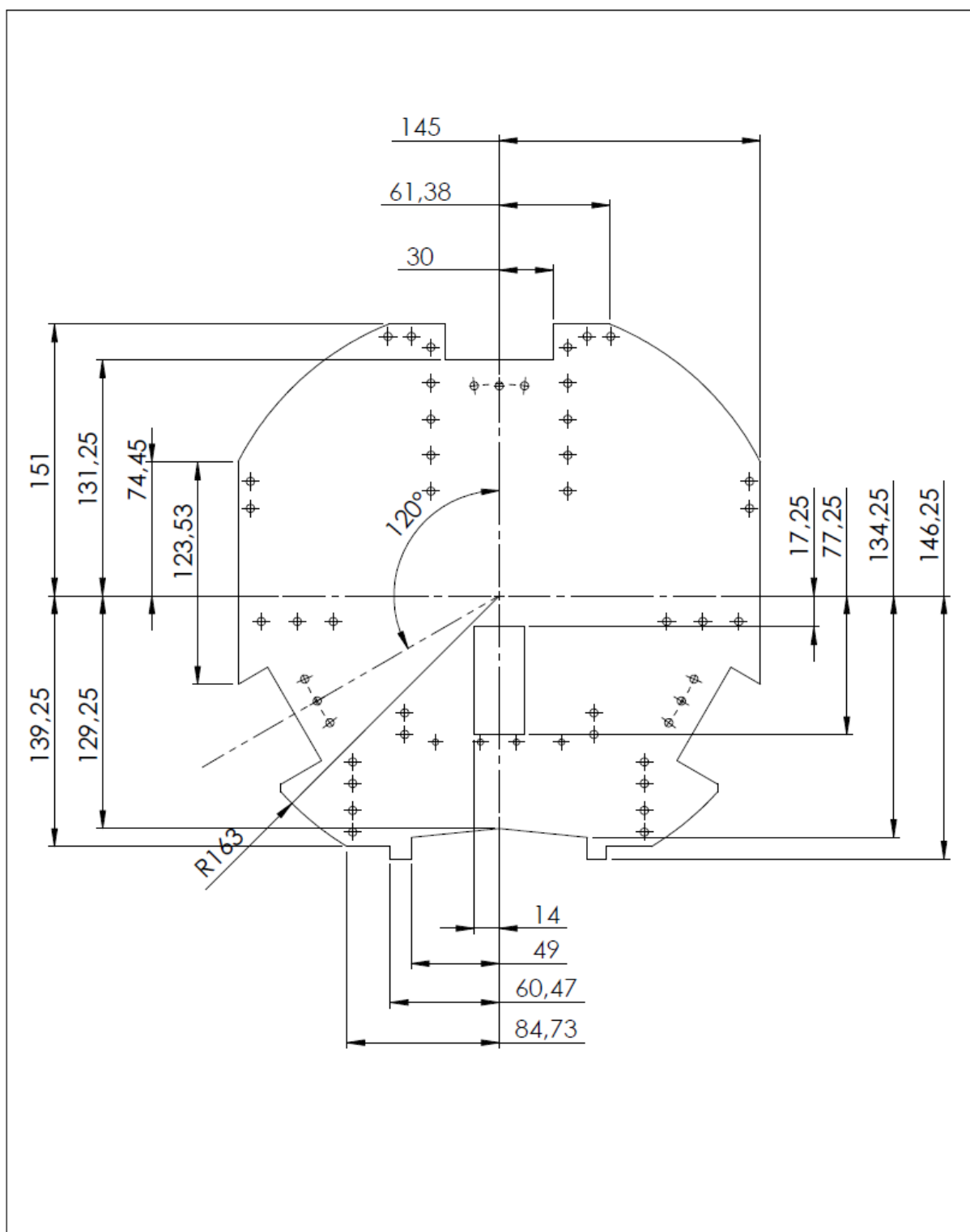


	Materjal : Alumiinium 6061	Näitamata piirhõlbed :	Mass : 0.48Kg	Mõõt : 1 : 3
Teostas	Markko Kasvandik	Nimetus : Keskmine plaat		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
		Leht : 1/2	Tähis : TN 18/100375 E 01 01D	

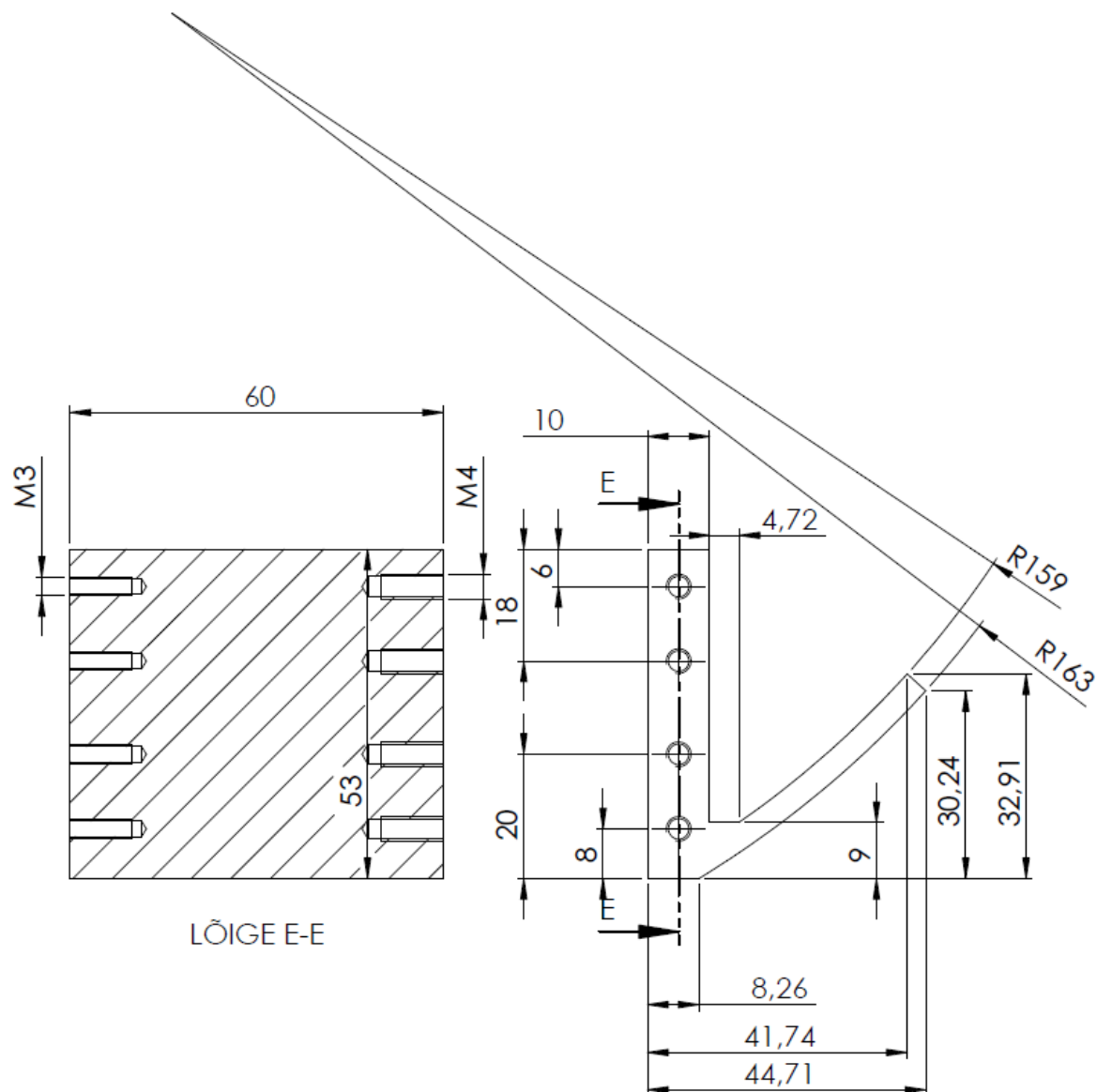


		Materjal : Alumiinium 6061	Näitamata piirhõlbed :	Mass : 0.48Kg	Mõõt : 1 : 3
Teostas	Markko Kasvandik		Nimetus : Keskmine plaat		
Kontrollis	Veli Palge				
Kinnitas	Veli Palge				
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences  Tartu Tehnikakolledž			Leht : 2/2	Tähis : TN 18/100375 E 01 02D	

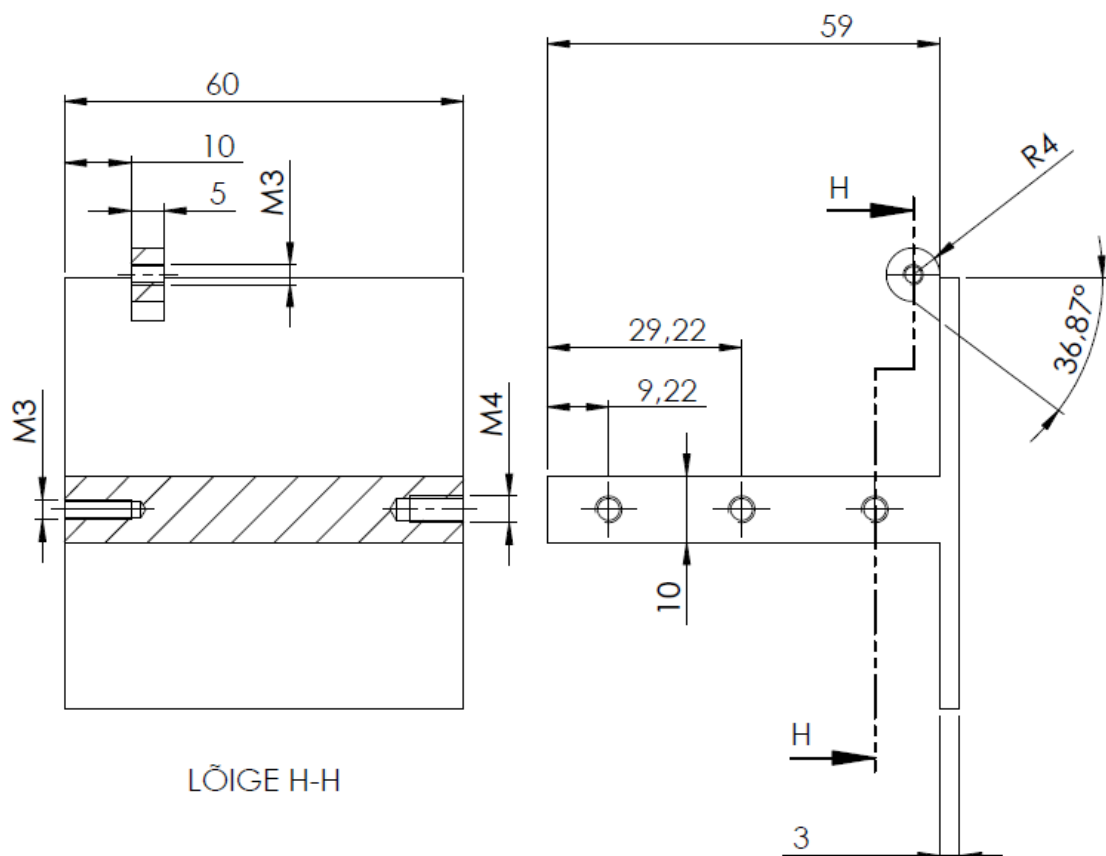





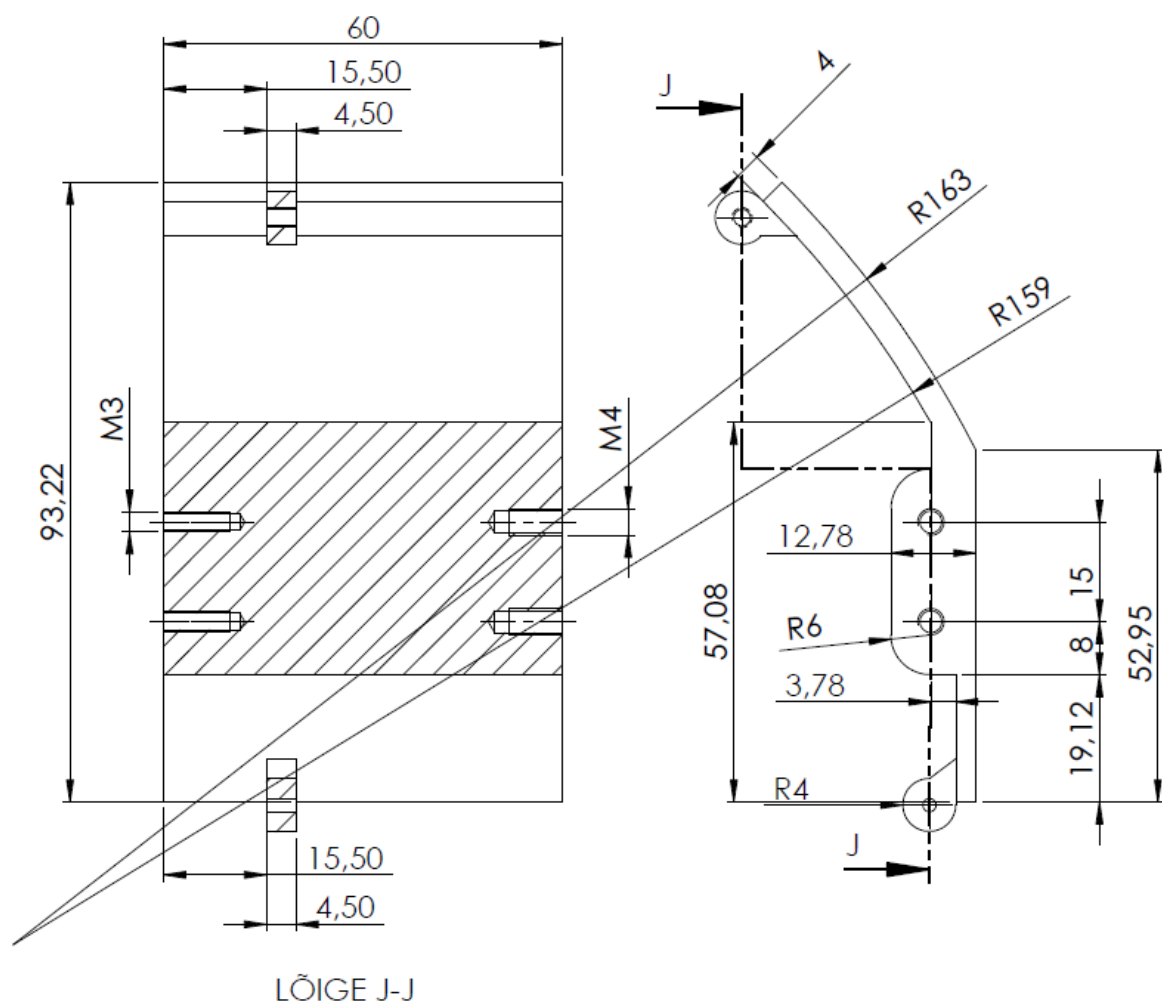
	Materjal : Alumiinium 6061	Näitamata piirhälbed :	Mass : 0.7Kg	Mõõt : 1 : 3
Teostas	Markko Kasvandik	Nimetus : Põhja plaat		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
		Leht : 2/2	Tähis : TN 18/100375 F 01 02D	



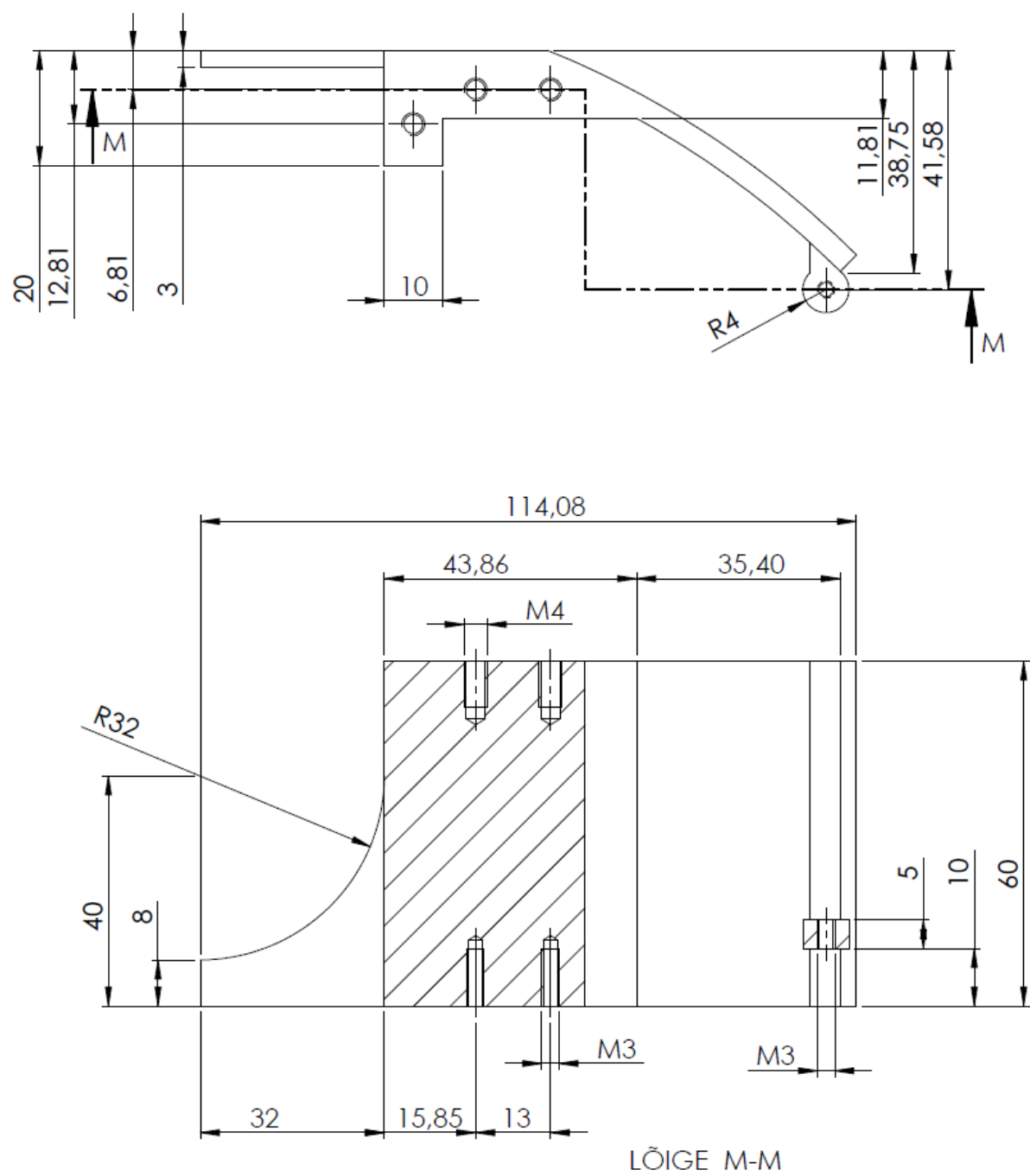
	Materjal : PLA 175N07	Näitamata piirhálbed :	Mass : 0.043Kg	Mõõt : 1 : 1
Teostas	Markko Kasvandik	Tugi sein 1		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences EMU Tartu Tehnikakolledž		Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 F 02 01D	




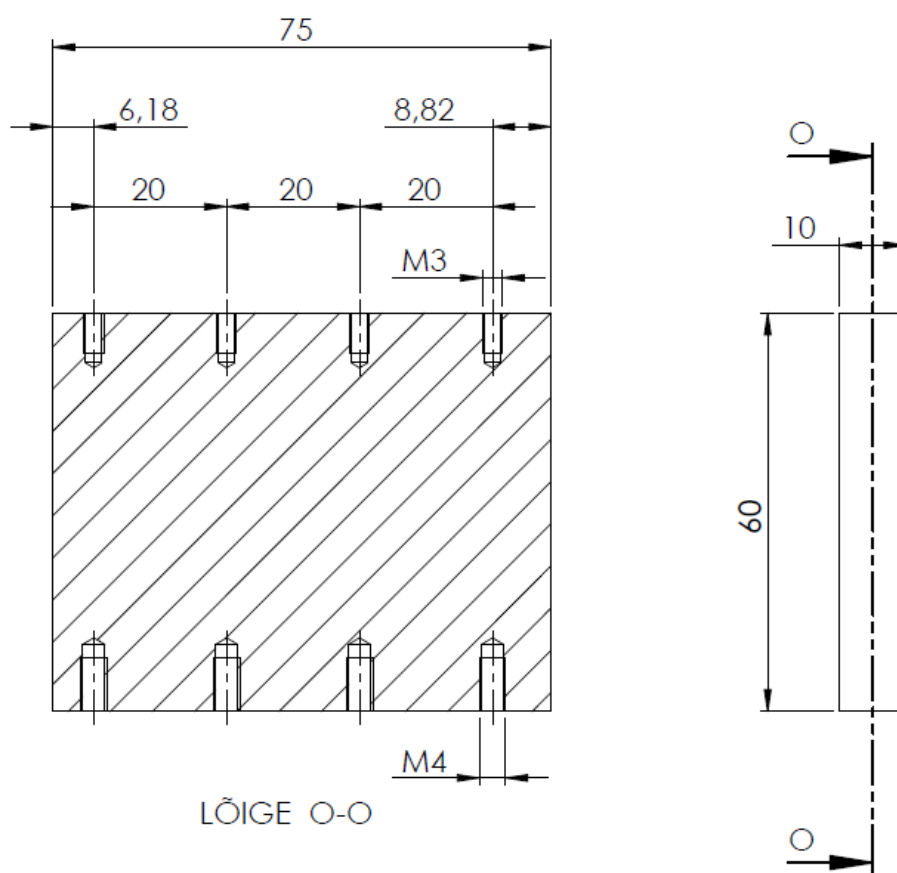
	Materjal : PLA 175N07	Näitamata piirhálbed :	Mass : 0.047Kg	Mõõt : 1 : 1
Teostas	Markko Kasvandik	Nimetus : Tugi sein 2		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
		Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 F 03 01D	



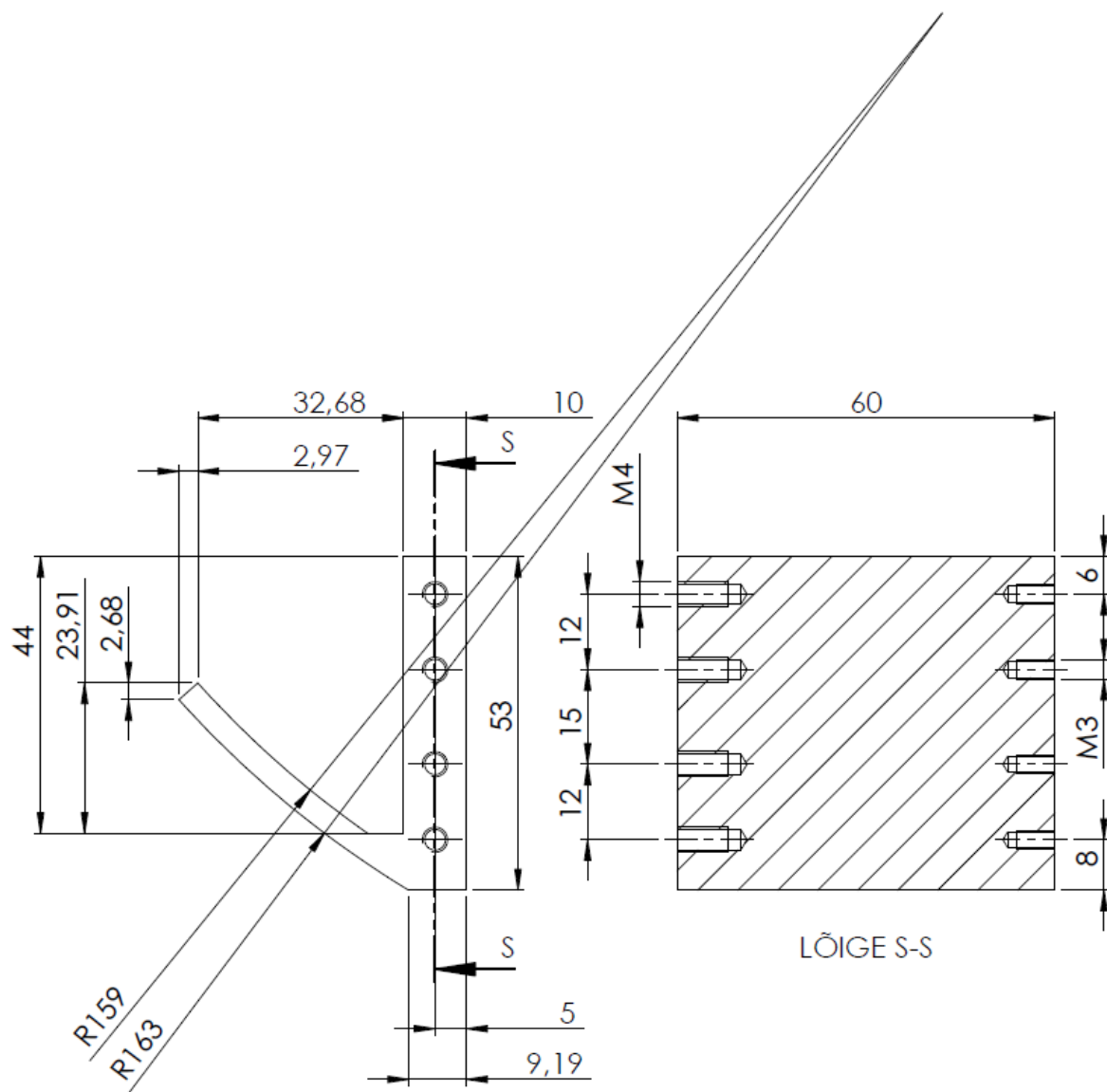
	Materjal : PLA 175N07	Näitamata piirhálbed :	Mass : 0.04Kg	Mõõt : 1 : 1
Teostas	Markko Kasvandik	Nimetus : Tugi sein 3		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
		Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 F 04 01D	



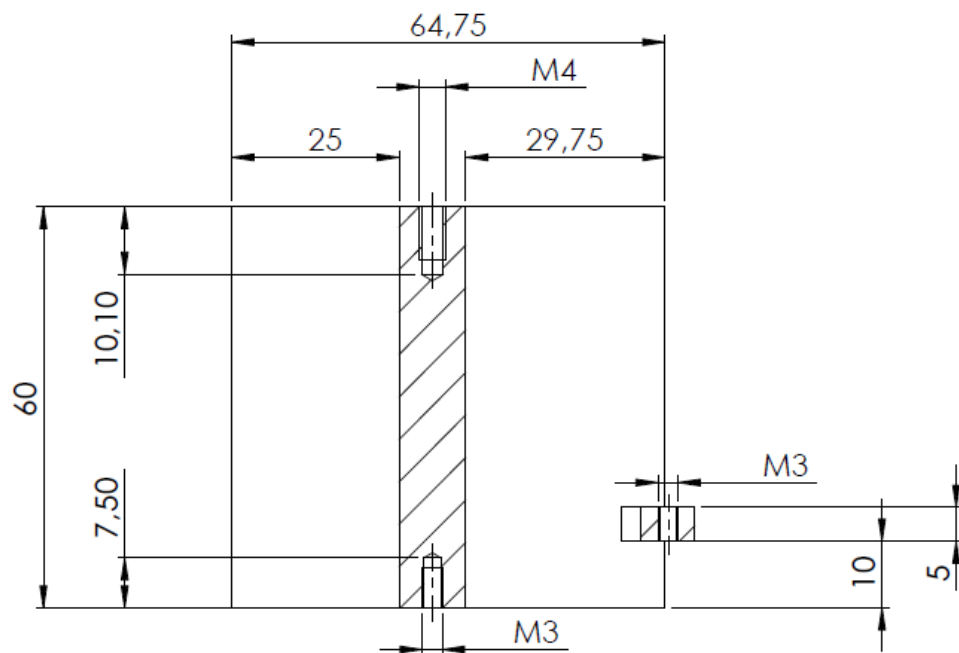
	Materjal : PLA 175N07	Näitamata piirhálbed :	Mass : 0.046Kg	Mõõt : 1 : 1
Teostas	Markko Kasvandik	Nimetus : Tugi sein 4		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
		Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 F 05 01D	



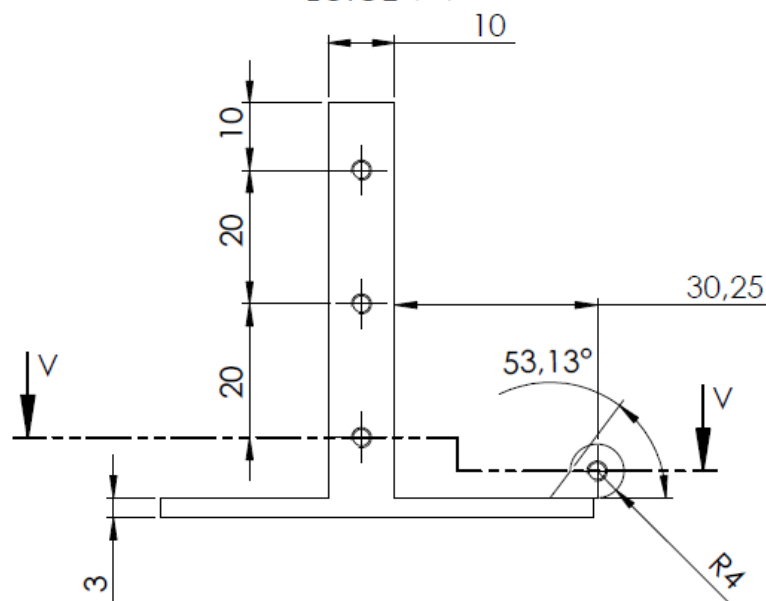
	Materjal : PLA 175N07	Näitamata piirhälbed :	Mass : 0.045Kg	Mõõt : 1 : 1
Teostas	Markko Kasvandik	Nimetus : Tugi sein 5		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
	Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž	Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 F 06 01D	



	Materjal : PLA 175N07	Näitamata piirhálbed :	Mass : 0.043Kg	Mööd : 1 : 1
Teostas	Markko Kasvandik	Nimetus : Tugi sein 6		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
		Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 F 07 01D	



LÕIGE V-V



Materjal :
PLA 175N07

Näitamata piirhálbed :

Mass : Mõõt :

0.047Kg 1 : 1

Teostas Markko Kasvandik

Kontrollis Veli Palge

Kinnitas Veli Palge

Nimetus :

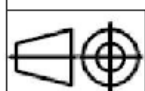
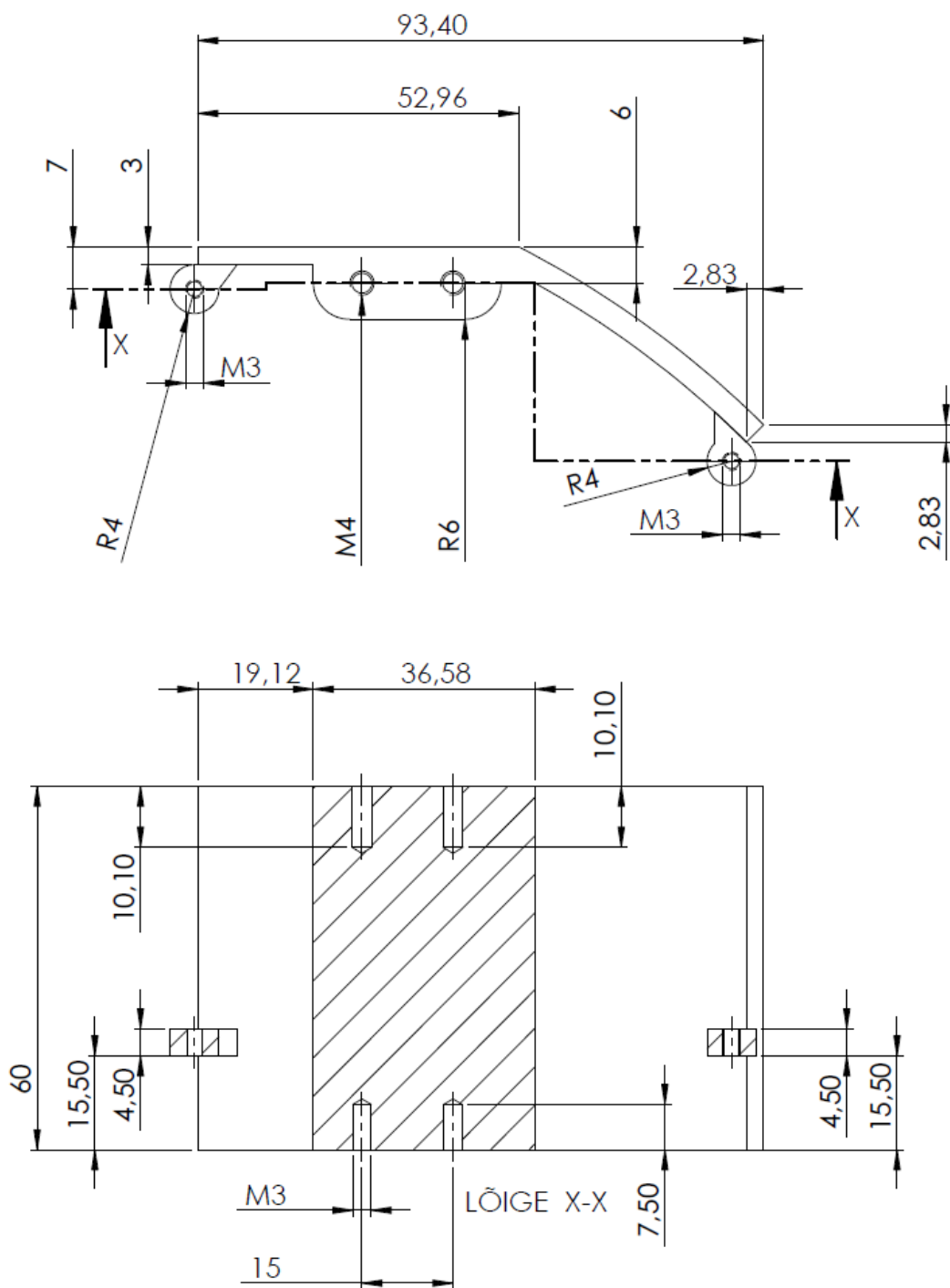
Tugi sein 7

Leht :

1

Tähis :

TN 18/100375 F 08 01D



Materjal :
PLA 175N07

Näitamata piirhälbed :

Mass :
0.038Kg

Mõõt :

1 : 1

Teostas Markko Kasvandik

Kontrollis Veli Palge

Kinnitas Veli Palge

Nimetus :

Tugi sein 8

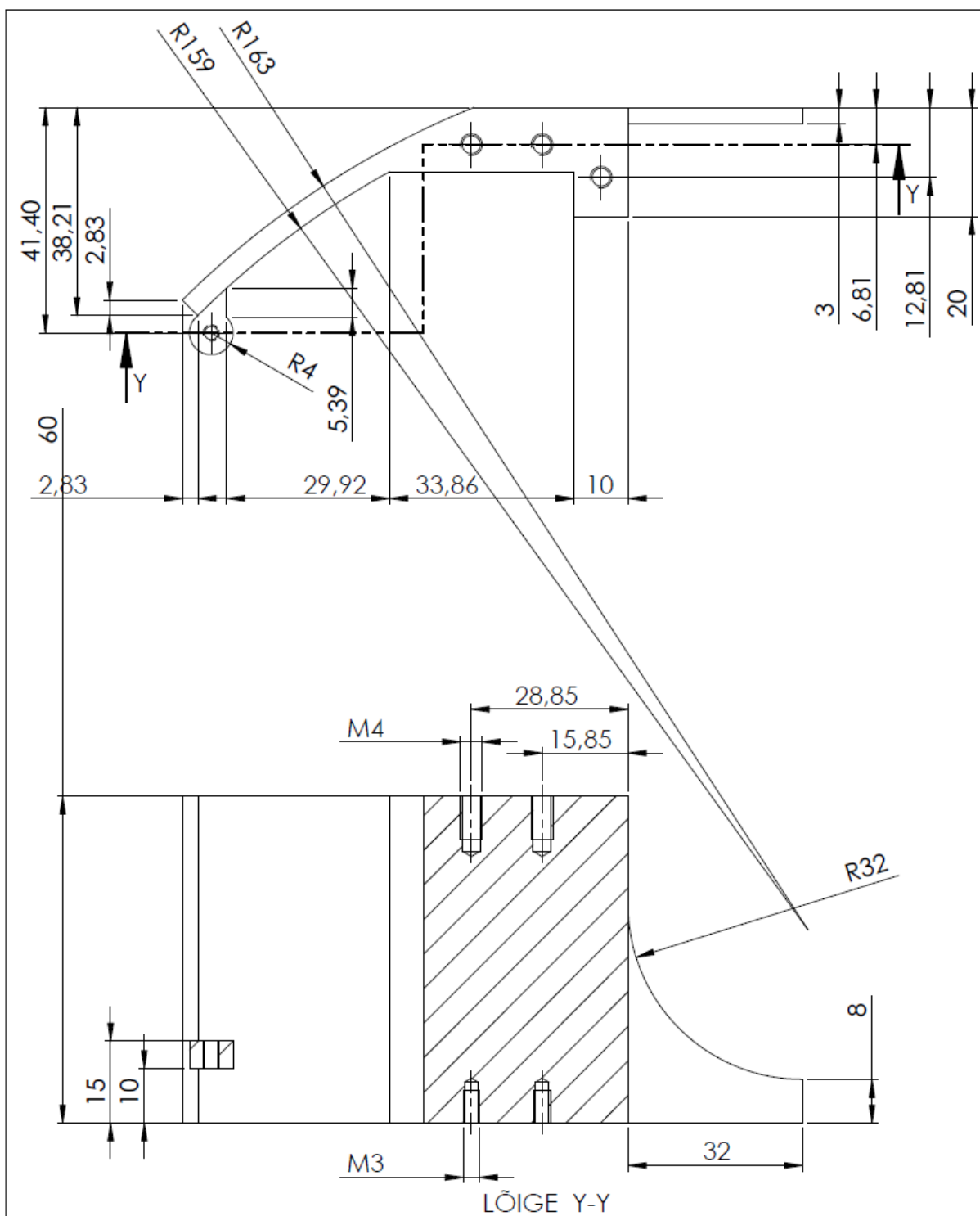


Leht :

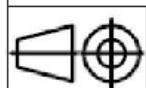
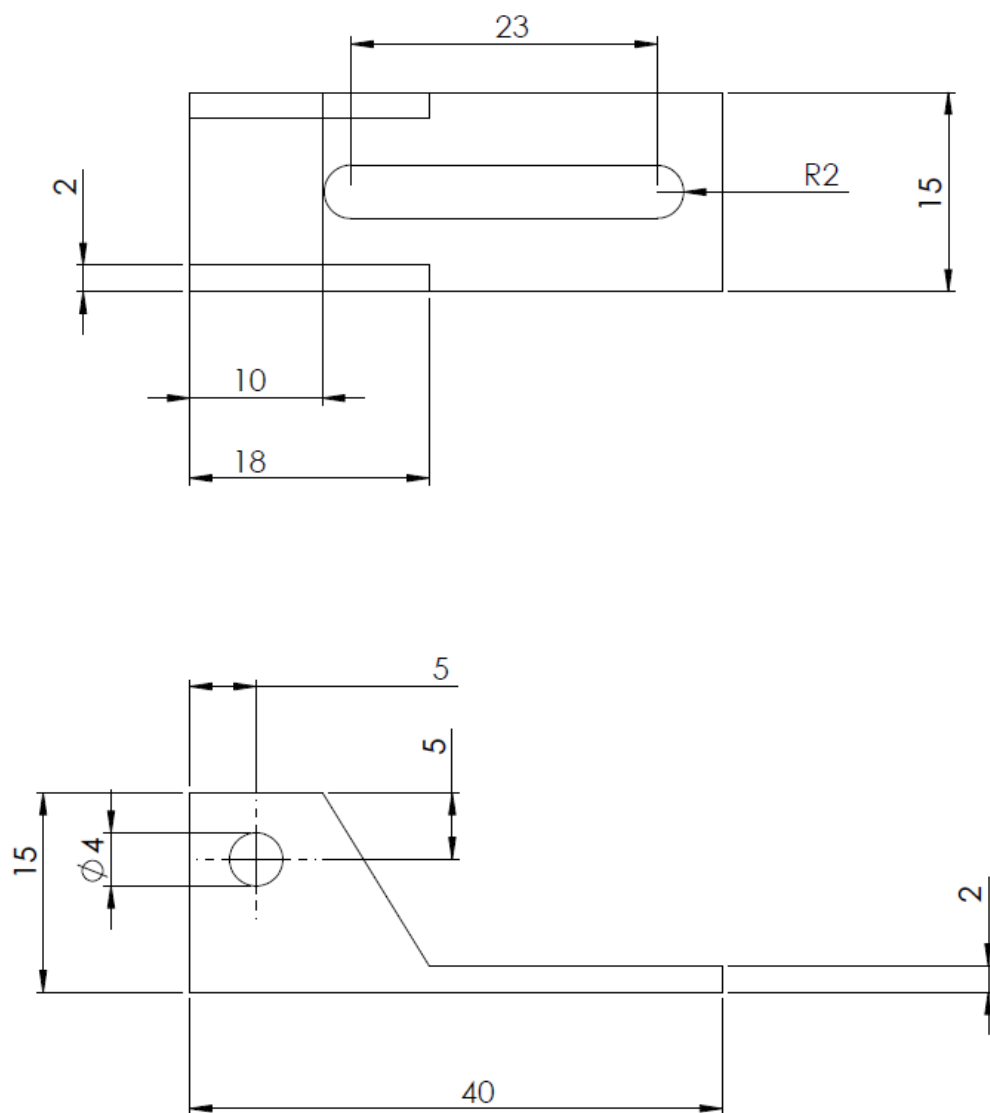
1

Tähis :

TN 18/100375 F 09 01D



	Materjal : PLA 175N07	Näitamata piirhálbed :	Mass : 0.046Kg	Mõõt : 1 : 1
Teostas	Markko Kasvandik	Nimetus : Tugi sein 9		
Kontrollis	Veli Palge			
Kinnitas	Veli Palge			
		Leht : 1	Tähis : TN 18/100375 F 10 01D	



Materjal :
PLA 175N07

Näitamata piirhálbed :

Mass :
0.005Kg

Mõõt :

1 : 1

Teostas Markko Kasvandik

Kontrollis Veli Palge

Kinnitas Veli Palge

Nimetus :

Liigend



Leht :

1

Tähis :

TN 18/100375 F 11 01D